21世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

Protel 99 SE

电路设计与仿真教程 第2版



- 本书从实用角度出发，全面介绍了利用Protel 99 SE进行电路原理图和印制电路板设计的方法，对电路仿真、信号分析和可编程逻辑元器件的设计进行了重点讲解。
- 本书以实例贯通全书，在每个知识点的讲解中，均结合相应的实例，而且在每讲完一个相关章节后，以一个典型实例进行深化，使其内容更易掌握。



清源科技工作室　编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

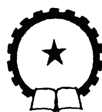
LANZAROTE Caliente.COM

21 世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

Protel 99 SE 电路设计与仿真教程

第 2 版

清源科技工作室　编著



机 械 工 业 出 版 社

Protel 99 SE 是 Altium 公司推出的基于 Windows 的电路设计软件，是一款 32 位的应用软件。本书从实用角度出发，全面介绍了 Protel 99 SE 的界面、基本组成以及使用环境等，并详细讲解了电路原理图、印制电路板的设计方法、电路仿真和 PCB 信号完整性分析，全书以讲解实例为主，将 Protel 99 SE 的各项功能结合起来，以便读者能尽快掌握电路设计的方法。

本书内容详实、条理清晰、实例丰富，主要面向广大电路设计工作者及大中专院校师生，同时本书又具有一定的深入性，也可以作为有一定经验的 Protel 使用人员的参考手册。

图书在版编目（CIP）数据

Protel 99 SE 电路设计与仿真教程 / 清源科技工作室编著. —2 版. —北京：机械工业出版社，2015.5

21 世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

ISBN 978-7-111-50080-3

Ⅰ. ①P… Ⅱ. ①清… Ⅲ. ①印刷电路－计算机辅助设计－应用软件－高等学校－教材 Ⅳ. ①TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 087174 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：和庆娣 责任编辑：和庆娣

责任校对：张艳霞 责任印制：李 洋

中国农业出版社印刷厂印刷

2015 年 6 月第 2 版 • 第 1 次印刷

185mm×260mm • 18.5 印张 • 457 千字

0001－3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-50080-3

定价：43.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：（010）88379833

读者购书热线：（010）88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机 工 官 网：www.cmpbook.com

机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金 书 网：www.golden-book.com

前　言

电路设计自动化（Electronic Design Automation，EDA）如今已成为不可逆转的时代潮流。随着计算机工业的蓬勃发展，EDA 的工作环境也从早期昂贵的工作站进入到一般个人计算机，也因此将 EDA 的设计思想普及到中小型企业及相关大专院校之中。Protel 设计系统就是一套建立在 IBM 兼容 PC 环境下的 EDA 电路集成设计系统，是具有强大功能的电子设计 CAD 软件。Altium 公司 2001 年正式推出具有产品数据管理（Product Data Management，PDM）功能的强大 EDA 综合设计环境 Protel 99 SE，它具有原理图设计、印制电路板（Printed Circuit Board，PCB）设计、层次原理图设计、报表制作、电路仿真以及逻辑器件设计等功能。

本书从实用角度出发，全面介绍 Protel 99 SE 的基本操作以及使用环境，并详细讲解了电路原理图的设计、印制电路板的设计，对电路仿真、信号分析和可编程逻辑元器件的设计进行了重点讲解。在讲解过程中，以实例贯通全书，每个知识点的讲解，均结合相应的实例，而且在每讲完一个相关的章节后，还以一个典型的实例进行深化。全书利用多个典型的工程设计实例讲述如何在 Protel 99 SE 环境下，绘制与设计电路原理图和 PCB，以及进行电路仿真和 PCB 信号完整性分析，体现了作者丰富的电路设计与布线经验。

全书共 7 章，第 1 章为 Protel 99 SE 应用的基础知识；第 2、3 章为 Protel 99 SE 的电路原理图设计部分；第 4 章讲述了电路仿真知识；第 5、6 章是 PCB 设计知识与实例讲解；第 7 章讲述了 PCB 信号完整性分析。每章均结合了典型实例进行讲解，使读者可以轻松掌握 Protel 99 SE 的各功能模块的使用。

本书第 1 版出版后得到许多读者的支持，为了满足广大读者的需要，对第 1 版进行了修订，更新了很多实例，还增加了 PCB 设计的一些基础知识的讲解，相信对广大读者会有很好的帮助。

本书所使用的软件环境中部分图片固有元器件符号可能与国家标准不一致，读者可自行查阅相关国家标准及资料。

本书由清源科技工作室负责策划，江思敏和胡烨编写。由于水平有限，时间仓促，书中疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编　者

目　录

前言

第 1 章　Protel 99 SE 基础入门 ……… *1*

1.1　Protel 99 SE 的功能模块 ……… *1*

1.2　Protel 99 SE 绘图环境 ……… *4*

1.2.1　Protel 99 SE 设计环境 ……… *4*

1.2.2　Protel 99 SE 的设计管理器 ……… *6*

1.3　Protel 99 SE 文件管理 ……… *6*

1.3.1　文件管理 ……… *7*

1.3.2　使用快捷菜单 ……… *10*

1.3.3　文件编辑 ……… *10*

1.3.4　设计管理器 ……… *11*

1.3.5　显示辅助查看工具 ……… *11*

1.4　设计组管理 ……… *12*

1.5　进入设计环境 ……… *14*

1.5.1　启动原理图设计环境 ……… *14*

1.5.2　启动印制电路板设计界面 ……… *16*

1.6　设置 Protel 99 SE 界面环境 ……… *17*

1.6.1　屏幕分辨率 ……… *17*

1.6.2　系统参数设置 ……… *17*

习题 ……… *19*

第 2 章　设计电路原理图 ……… *20*

2.1　电路板和电路原理图的设计步骤 ……… *20*

2.1.1　电路板设计的一般步骤 ……… *20*

2.1.2　电路原理图设计的一般步骤 ……… *20*

2.2　Protel 99 SE 电路图设计工具 ……… *21*

2.2.1　电路原理图设计工具栏 ……… *22*

2.2.2　图样的放大与缩小 ……… *23*

2.3　设置图纸 ……… *24*

2.3.1　图纸大小设置 ……… *24*

2.3.2　图纸方向 ……… *25*

2.3.3　设置图纸颜色 ……… *26*

2.3.4　设置图纸的设计信息 ……… *27*

2.3.5　设置系统字体 ……… *27*

2.4　网格和光标设置 ……… *28*

2.4.1　设置网格 ……… *28*

2.4.2　电气节点 ……… *29*

2.4.3　设置光标 ……… *29*

2.5　加载元器件库 ……… *30*

2.6　放置元器件 ……… *32*

2.6.1　使用元器件库放置元器件 ……… *32*

2.6.2　使用工具栏放置元器件 ……… *34*

2.7　编辑元器件 ……… *35*

2.7.1　编辑元器件属性 ……… *35*

2.7.2　编辑元器件组件的属性 ……… *39*

2.8　元器件位置的调整 ……… *40*

2.8.1　对象的选取 ……… *40*

2.8.2　元器件的移动 ……… *42*

2.8.3　单个元器件的移动 ……… *43*

2.8.4　多个元器件的移动 ……… *44*

2.8.5　元器件的旋转 ……… *45*

2.8.6　取消元器件的选择 ……… *46*

2.8.7　复制粘贴元器件 ……… *46*

2.8.8　阵列式粘贴元器件 ……… *46*

2.8.9　元器件的删除 ……… *47*

2.8.10　元器件的排列 ……… *47*

2.9　放置电源与接地元器件 ……… *51*

2.10　更新元器件流水号 ……… *52*

2.11　放置电路方块图 ……… *53*

2.12　原理图的电气连接 ……… *55*

2.12.1　画导线 ……… *56*

2.12.2　设置网络标号 ……… *58*

2.12.3　放置输入/输出端口 ……… *60*

2.12.4　放置节点 ……… *62*

2.12.5　电气连接线路 ……… *63*

2.12.6　画总线 ……… *64*

2.12.7　画总线出入端口 ……… *65*

2.13 设置原理图的环境参数…………67
2.13.1 设置原理图环境……………………67
2.13.2 设置图形编辑环境…………………68
2.13.3 设置默认原始环境…………………69
2.14 绘制电路原理图实例………………70
2.14.1 放置元器件…………………………71
2.14.2 电气连接……………………………71
2.14.3 保存原理图文件……………………73
习题……………………………………………74
第 3 章 原理图设计进阶……………………77
3.1 层次原理图的设计……………………77
3.1.1 电路的层次化设计方法……………77
3.1.2 层次化的原理图……………………79
3.1.3 不同层次电路之间的切换…………83
3.1.4 由方块电路符号生成原理图中的 I/O 端口符号……………………………83
3.1.5 由原理图文件生成方块电路符号…………………………………84
3.1.6 生成层次表…………………………85
3.2 使用绘图工具…………………………85
3.2.1 绘图工具栏…………………………85
3.2.2 绘制直线……………………………86
3.2.3 绘制多边形…………………………87
3.2.4 绘制圆弧与椭圆弧…………………88
3.2.5 放置注释文字………………………89
3.2.6 放置文本框…………………………90
3.2.7 绘制矩形……………………………92
3.2.8 绘制圆与椭圆………………………93
3.2.9 绘制饼图……………………………94
3.2.10 插入图片……………………………95
3.2.11 绘制 Bezier 曲线……………………96
3.3 编辑与添加元器件……………………96
3.3.1 元器件库编辑器……………………96
3.3.2 元器件库的管理……………………98
3.3.3 元器件绘图工具……………………102
3.3.4 制作元器件实例……………………105
3.3.5 生成元器件报表……………………112
3.4 电气规则检查与报告…………………114
3.4.1 电气规则检查………………………114
3.4.2 电气规则检查报告…………………116
3.5 生成原理图的报表……………………117
3.5.1 网络表………………………………117
3.5.2 元器件材料表………………………120
3.5.3 交叉参考表…………………………121
3.5.4 网络比较表…………………………121
习题……………………………………………123
第 4 章 电路的信号仿真……………………125
4.1 SIM 99 仿真库中的元器件……………125
4.1.1 电阻…………………………………125
4.1.2 电容…………………………………125
4.1.3 电感…………………………………126
4.1.4 二极管………………………………126
4.1.5 晶体管………………………………126
4.1.6 JFET 结型场效应晶体管……………127
4.1.7 MOS 场效应晶体管…………………127
4.1.8 MES 场效应晶体管…………………128
4.1.9 电压/电流控制开关…………………128
4.1.10 熔丝…………………………………129
4.1.11 晶体振荡器…………………………129
4.1.12 继电器（RELAY）…………………130
4.1.13 互感器（电感耦合器）……………130
4.1.14 传输线………………………………130
4.1.15 TTL 和 CMOS 数字电路元器件…………………………………131
4.1.16 集成块………………………………132
4.2 SIM 99 中的激励源描述………………132
4.2.1 直流源………………………………132
4.2.2 正弦仿真源…………………………133
4.2.3 周期脉冲源…………………………133
4.2.4 分段线性源…………………………134
4.2.5 指数激励源…………………………135
4.2.6 单频调频源…………………………135
4.2.7 线性受控源…………………………136
4.2.8 非线性受控源………………………136
4.2.9 频率/电压转换器……………………137
4.2.10 压控振荡器（VCO）仿真源………137
4.3 初始状态的设置………………………138
4.3.1 节点电压设置 NS……………………138

4.3.2 初始条件设置 IC ························ 138
4.4 仿真器的设置 ···························· 139
4.4.1 进入分析主菜单 ························ 139
4.4.2 瞬态特性分析·························· 140
4.4.3 傅里叶分析···························· 140
4.4.4 交流小信号分析 ························ 141
4.4.5 直流分析 ······························ 142
4.4.6 蒙特卡罗分析·························· 142
4.4.7 扫描参数分析·························· 143
4.4.8 扫描温度分析·························· 144
4.4.9 传递函数分析·························· 144
4.4.10 噪声分析····························· 145
4.5 设计仿真原理图 ·························· 145
4.5.1 调用元器件库·························· 146
4.5.2 选择仿真用原理图元器件··········· 146
4.5.3 仿真原理图···························· 146
4.6 模拟电路仿真实例························ 146
4.7 数字电路仿真实例························ 151
习题······································· 153
第 5 章 印制电路板设计基础··············· 154
5.1 印制电路板基础 ·························· 154
5.1.1 印制电路板结构 ························ 154
5.1.2 元器件封装···························· 154
5.1.3 铜膜导线 ······························ 156
5.1.4 助焊膜和阻焊膜 ························ 156
5.1.5 层 ···································· 156
5.1.6 焊盘和过孔···························· 157
5.1.7 丝印层································ 157
5.1.8 敷铜·································· 157
5.2 PCB 设计的基本原则··················· 158
5.2.1 布局·································· 158
5.2.2 布线·································· 159
5.2.3 焊盘大小 ······························ 160
5.2.4 印制电路板电路的抗干扰措施······· 161
5.2.5 去耦电容配置·························· 161
5.2.6 各元器件之间的电气布线··········· 161
5.2.7 印制电路板的分割····················· 162
5.2.8 印制电路板布线流程················· 164
5.3 印制电路板的叠层设计················· 165
5.3.1 多层板································ 165
5.3.2 六层板································ 166
5.3.3 四层板································ 167
5.3.4 单面和双面板·························· 168
5.3.5 叠层设计布局快速参考 ············· 171
5.4 接地方法 ································ 171
5.4.1 单点接地 ······························ 172
5.4.2 多点接地 ······························ 172
5.4.3 接地和信号回路 ······················· 174
5.5 信号走线 ································ 174
5.5.1 单端走线 ······························ 174
5.5.2 差分对走线···························· 177
5.5.3 使用地保护走线 ······················· 179
5.5.4 拐角走线 ······························ 180
5.5.5 PCB 的布线配置······················ 180
5.6 PCB 设计编辑器························ 182
5.6.1 PCB 编辑器界面操作 ··············· 183
5.6.2 工具栏的使用·························· 184
5.6.3 PCB 电路参数设置 ··················· 185
5.6.4 PCB 参数设置技巧 ··················· 190
5.7 PCB 布线和图形绘制工具 ········· 191
5.7.1 绘制导线 ······························ 191
5.7.2 放置焊盘 ······························ 192
5.7.3 放置过孔 ······························ 194
5.7.4 补泪滴设置···························· 195
5.7.5 放置字符串···························· 195
5.7.6 放置坐标 ······························ 196
5.7.7 放置尺寸标注·························· 196
5.7.8 设置初始原点·························· 197
5.7.9 绘制圆弧或圆·························· 197
5.7.10 放置填充····························· 199
5.7.11 放置多边形平面······················ 199
5.7.12 放置电源平面的切分多边形······ 200
5.7.13 放置房间定义 ······················· 201
5.8 制作与管理元器件封装··············· 202
5.8.1 启动元器件封装编辑器 ············· 202
5.8.2 元器件封装编辑器介绍 ············· 203
5.8.3 创建新的元器件封装················· 204
5.8.4 使用向导创建元器件封装··········· 208

5.8.5 元器件封装管理 …… 212
习题 …… 214
第 6 章 制作印制电路板 …… 215
6.1 PCB 工作层 …… 215
6.1.1 层的管理 …… 215
6.1.2 层的类型 …… 216
6.1.3 层的设置 …… 218
6.2 准备原理图和网络表 …… 219
6.3 规划 PCB 和电气定义 …… 221
6.3.1 手动规划 PCB …… 221
6.3.2 使用向导生成 PCB …… 222
6.4 网络表与元器件封装的加载 …… 225
6.4.1 加载元器件封装库 …… 225
6.4.2 浏览元器件封装库 …… 226
6.4.3 网络表与元器件封装的加载 …… 226
6.4.4 放置元器件封装 …… 229
6.4.5 添加网络连接 …… 231
6.5 元器件的自动布局 …… 232
6.6 手动编辑调整元器件的布局 …… 233
6.6.1 选取元器件 …… 233
6.6.2 旋转元器件 …… 234
6.6.3 移动元器件 …… 235
6.6.4 排列元器件 …… 236
6.6.5 调整元器件标注 …… 238
6.6.6 剪贴复制元器件 …… 239
6.6.7 删除元器件 …… 241
6.7 布线前的设置 …… 241
6.7.1 工作层 …… 241
6.7.2 设置布线的设计规则 …… 242
6.7.3 设计规则检查 …… 248
6.8 自动布线 …… 249
6.9 手动调整 …… 252
6.9.1 手动调整布线 …… 252
6.9.2 预布电源/接地线 …… 253
6.9.3 敷铜处理 …… 255
6.9.4 对焊盘和过孔补泪滴 …… 256
6.10 PCB 流水号和原理图的更新 …… 256
6.11 手动交互布线 …… 259
6.12 PCB 的三维显示 …… 262
6.13 生成 PCB 报表 …… 262
6.13.1 NC 钻孔报表 …… 262
6.13.2 生成元器件清单 …… 265
6.13.3 生成光绘（Gerber）文件 …… 267
6.13.4 生成其他报表文件 …… 269
习题 …… 271
第 7 章 PCB 信号完整性分析 …… 272
7.1 设置信号完整性分析规则 …… 272
7.2 PCB 的 DRC 检查 …… 278
7.3 内部完整性仿真器 …… 280
7.3.1 File 菜单 …… 281
7.3.2 Edit 菜单 …… 281
7.3.3 Simulation 菜单 …… 282
7.3.4 Library 菜单 …… 284
7.3.5 Options 菜单 …… 285
7.4 波形分析 …… 286
习题 …… 287
附录 书中非标准符号与国标的对照表 …… 288

第 1 章　Protel 99 SE 基础入门

Protel 99 SE 是基于 Windows 环境的电路原理图辅助设计与绘制软件，其功能模块包括电路原理图设计、印制电路板设计、电路图模拟/仿真、信号完整性分析等，本章主要讲述 Protel 99 SE 的一些基本概念和操作。

1.1　Protel 99 SE 的功能模块

Protel 99 SE 主要功能模块包括电路原理图设计、PCB 设计和电路仿真与 PLD 设计等，各模块具有丰富的功能，可以实现电路设计与分析的目标。

1）电路设计部分主要包括下面几部分。

- 用于原理图设计的 Schematic 模块。该模块主要包括设计原理图的原理图编辑器，用于修改、生成零件的零件库编辑器以及各种报表的生成器。
- 用于电路板设计的 PCB 设计模块。该模块主要包括用于设计电路板的电路板编辑器，用于修改、生成零件封装的零件封装编辑器以及电路板组件管理器。
- 用于 PCB 自动布局和布线的 Route 模块。

2）电路仿真与 PLD 设计部分主要包括下面几部分。

- 用于可编程逻辑器件设计的 PLD 模块。该模块主要包括具有语法规则的文本编辑器、用于编译和仿真设计结果的 PLD 以及仿真波形观察窗口。
- 用于电路仿真的 Simulate 模块。该模块主要包括一个能力强大的数-模混合信号电路仿真器，能提供连续的模拟信号和离散的数字信号仿真。

1．Schematic 的模块

电路原理图是电路设计的开始，是实现用户设计目标的原理实现。图形主要由电子器件和线路组成。如图 1-1 所示即为一电路原理图，该原理图就是由 Schematic 模块生成的，Schematic 模块具有如下特征。

（1）支持层次化设计

随着电路的日益复杂，电路设计的方法也日趋层次化（Hierarchy）。也就是说，可先将整个电路按照其特性及复杂程度切割成适当的子电路，必要时可以使用层次化的树状结构来完成。设计师先单独绘制及处理好每一个子电路，然后再将它们组合起来处理，最后完成整个电路。Schematic 提供了层次化设计所需要的功能。

（2）丰富而又灵活的编辑功能

- 自动连接功能。在原理图设计时，用一些专门的自动化特性来加速电气件的连接。电气栅格特性提供了所有电气件（包括端口、原理图、总线、总线端、网络标号、连线和元器件等）的真正“自动连接”。当它被激活时，一旦光标走到电气栅格的范围内，它就自动跳到最近的电气“热点”上，接着光标形状发生改变，指示出连接

点。当这一特性和自动连接特性配合使用时，连线工作就变得非常轻松。

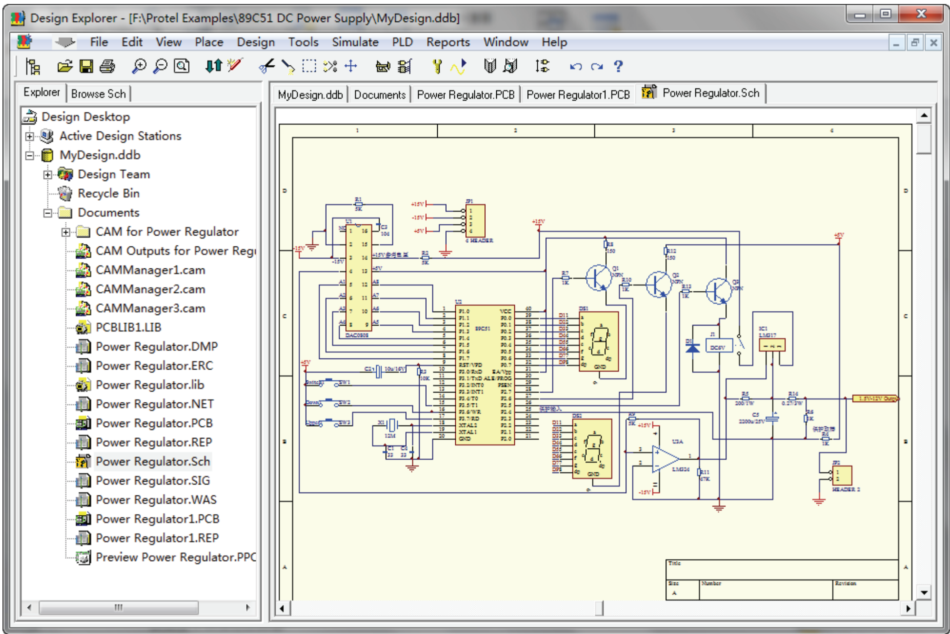


图 1-1　电路原理图

- 交互式全局编辑。在任何设计对象（如元器件、连线、图形符号、字符等）上，只要双击，就可打开它的对话框。对话框显示该对象的属性，可以对其进行修改，并将这一修改扩展到同一类型的所有其他对象，即进行全局修改。如有需要，还可以进一步指定全局修改的范围。
- 便捷的选择功能。设计者可以选择全体，也可以选择某个单项，或者一个区域。在选择项中可以不选某项，也可以增加选项。已选中的对象可以移动、旋转，也可以使用标准的 Windows 命令，如 Cut（剪切）、Copy（复制）、Paste（粘贴）、Clear（清除）等。

（3）强大的设计自动化功能

- 设计检验 ERC（电气法则检查）。Protel 可以对大型复杂设计进行快速检查。电气法则检查可以按照用户指定的物理/逻辑特性进行，而且可以输出各种物理 / 逻辑冲突的报告。例如没连接的网络标号、没连接的电源、空的输入引脚等，同时还可将 ERC 的结果直接标记在原理图中。
- 数据库连接。Protel 提供了强大灵活的数据库连接，原理图中任何对象的任意属性值都可以输入和输出，可以选择某些属性（可以是两个属性，也可以是全部属性）进行传送；也可以指定输入/输出的范围是当前文件，还是当前项目或元器件库，或者是全部打开的文件或元器件库。一旦所选择的属性值已输出到数据库，由数据库管理系统来处理支持的数据库，包括 dBASE III 和 dBASE IV。
- 自动标注。在设计过程的任何时候都可以使用“自动标注”功能（一般是在设计完成的时候使用），以保证无标号跳过或重复。

（4）在线库编辑及完善的库管理功能

- 不仅可以打开任意数目的库，而且不需要离开原来的编辑环境就可以访问元器件库，通过计算机网络还可以访问多用户库。
- 元器件可以在线浏览，也可以直接从库编辑器中放置到设计图上，不仅库元器件可以增加或修改，而且原理图和元器件库之间可以进行相互修改。
- 原理图提供 16 000 多个元器件库（EE 三种模式），包括 AMD、Intel、Motorola、Texas Instruments、National Instruments、ZILOG、Maxim 以及 XilinxPSPICE、SPICE 仿真库等。

2．PCB 设计模块

PCB 是由电路原理图到制板的桥梁，设计了电路原理图后，需要根据原理图生成印制电路板，这样就可以制作电路板。如图 1-2 所示为一张由原理图生成的 PCB 图。PCB 设计模块具有如下主要特点。

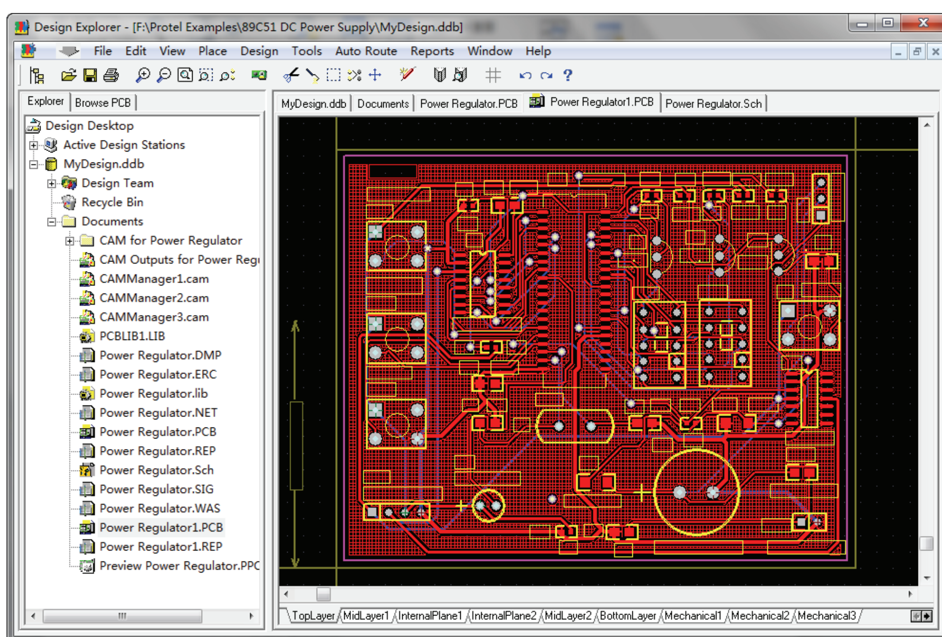


图 1-2　一块标准的 PCB 图

（1）32 位的 EDA 设计系统

- PCB 可支持设计层数为 32 层、板图大小为（2540mm×2540mm）或（100inch×100inch）的多层印制电路板。
- 可作任意角度的旋转，分辨率为 0.001°。
- 支持水滴焊盘和异型焊盘。

（2）丰富而又灵活的编辑功能

- 交互式全局编辑功能、便捷的选择功能、多层撤销或重做功能。
- 支持飞线编辑功能和网络编辑功能。用户无须生成新的网络表即可完成对设计的修改。
- 手动重布线可自动去除回路。

- PCB 图能同时显示元器件引脚号和连接在引脚上的网络标号。
- 集成的 ECO（工程修改单）系统将会记录下每一步修改，并将其写入 ECO 文件，可依此修改原理图。

（3）强大的设计自动化功能

- 具有超强的自动布局能力，它采用了基于人工智能的全局布局方法，可以实现 PCB 板面的优化设计。
- 高级自动布线器采用拆线重试的多层迷宫布线算法，可同时处理所有信号层的自动布线，并可以对布线进行优化。可选的优化目标如使过孔数目最少、使网络按指定的优先顺序布线等。
- 支持 Shape-based（无网络）的布线算法，可完成高难度、高精度 PCB（如 486 以上微机主板等）的自动布线。
- 在线式 DRC（设计规则检查），在编辑时系统可自动地指出违反设计规则的错误。

（4）在线式库编辑及完善的库管理功能

设计者不仅可以打开任意数目的库，而且不需要离开原来的编辑环境就可访问、浏览元器件封装库。通过计算机网络还可以访问多用户库。

（5）完备的输出系统

- 支持 Windows 平台上所有输出外部设备，并能预览设计文件。
- 可输出高分辨率的光绘（Gerber）文件，对其进行显示、编辑等。
- 还能输出 NC Drill 和 Pick＆Place 文件等。

3．PLD 逻辑器件设计

PLD99 支持主要的逻辑器件生产商，与其他的 EDA 软件相比，PLD99 有两个独特的优点，第一是仅仅需要学习一种开发环境和语言就能够使用不同厂商的器件；用 PLD99 既可为 PAL16L8 设计一个简单的地址解码器，又可为 Xilinx5000 系列元器件做一个专用的设计。另一个优点是可将相同的逻辑功能做成物理上不同的元器件，以便根据成本、供货渠道自由选择元器件制造商。PLD99 全面支持 PLD 器件，它包括 Altera Max，AMD MACH，Atmel 高密度 EPLDs，Cypress，Inter FLEX，ICT EPLD/FPGA’s，lattice，National MAPL，Motorola，Philips PML，Xilinx EPLD 等。

1.2 Protel 99 SE 绘图环境

1.2.1 Protel 99 SE 设计环境

当用户启动 Protel 99 SE 后，系统将进入设计环境。此时可以选择“File”菜单→“New”命令，系统将弹出如图 1-3 所示的“New Design Database（建立新设计数据库）”对话框。

1．Design Storage Type（设计保存类型）

- MS Access Database：设计过程中的全部文件都存储在一个数据库中，即所有的原理图、PCB 文件、网络表、材料清单都存在一个“ddb”文件中，在资源管理器中只能看到唯一的“ddb”文件。

- Windows File System：在对话框底部指定的硬盘位置建立一个设计数据库的文件夹，所有文件被自动保存在文件夹中。可以直接在资源管理器中对数据库中的设计文件如原理图、PCB 等进行复制、粘贴等操作。这种设计数据库的存储类型，可以方便在硬盘对数据库内部的文件进行操作，但不支持 Design Team 特性。

选择“MS Access Datebase”类型后，对话框将增加一个“Password（密码）”选项卡，如果选择“Windows File System”类型，则没有该选项卡。

选择“MS Access Datebase”类型，如果用户想设定所设计电路图数据库文件为保密级，则可以单击图 1-3 所示的对话框中的“Password”标签，进入“Password”选项卡，如图 1-4 所示，用户可以选择“Yes”单选按钮，并且可以在“Password”文本框中输入所设置的密码，然后在“Confirm Password（确认密码）”文本框中再次输入设置的密码，确认正确后，即设置成功。

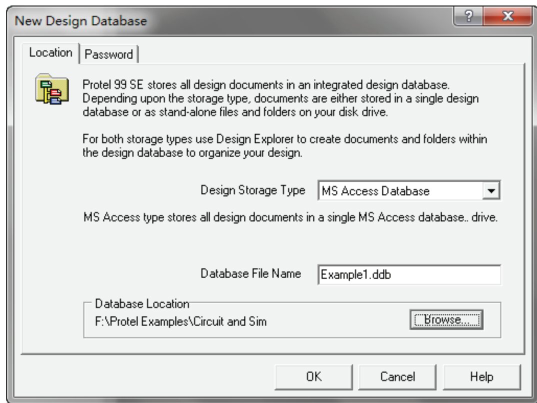


图 1-3 “New Design Database”对话框

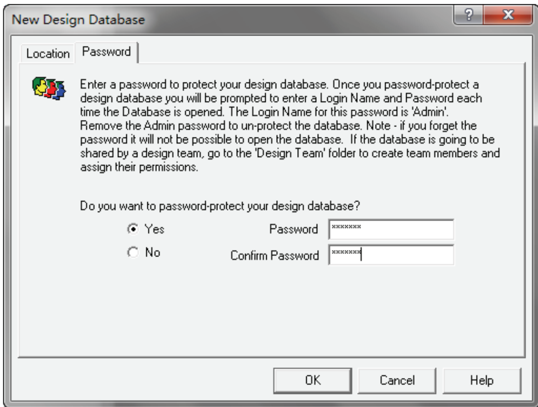


图 1-4 “Password”选项卡

注意：用户必须记住所设置的密码，否则将不能打开所设计的文件数据库。

2．Database File Name（数据库文件名）

可以在“Database File Name（数据库文件名）”文本框中输入所设计的电路图的数据库名，文件的扩展名为“ddb”。如果想改变数据库文件所在当前目录，可以单击“Browse”按钮，系统将弹出如图 1-5 所示的“Save as”对话框，此时可以设定数据库文件所在的路径。

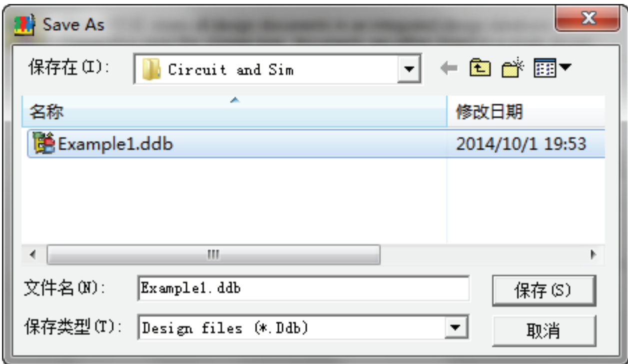


图 1-5 “Save as”对话框

完成文件名的输入后，就可以单击“OK”按钮，进入设计环境，如图 1-6 所示，此时就可以进行电路图或其他的设计工作。

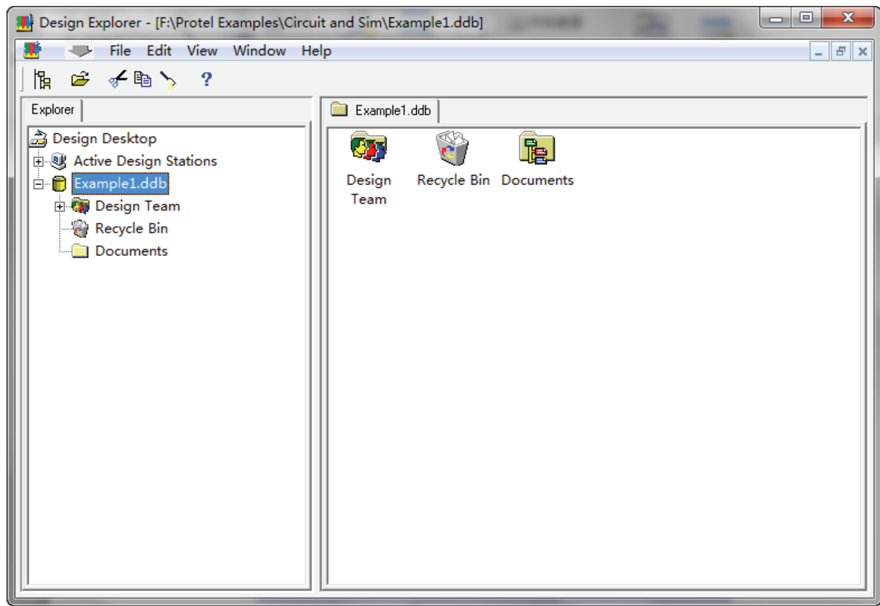


图 1-6　Protel 99 SE 设计环境

1.2.2　Protel 99 SE 的设计管理器

在 Protel 99 SE 中，所有的设计文档都集成在一个设计库中，管理这个设计库的工具就是 Design Explorer（即设计管理器），如图 1-6 所示。设计管理器主要包含以下几个部分。

1．Design Team（设计组）管理器

Protel 99 的设计是面向一个设计组的，设计组的成员和特点都在 Design Team（设计组）中进行管理，可以在 Design Explorer 中定义设计组的成员和权限，这样就使通过网络来进行设计变得更加方便。设计组中的成员数量没有限制，并且他们可以同时访问同一个设计库。每个成员都可以看到当前哪个文档被打开，并且可以锁住文档防止被修改。

2．Documents（文档）管理器

所有的文档都包含在 Design Documents（设计文档）主目录中，其中主要有电路设计文档电路原理图 Schematics 文件和 PCB 文件，以及很多子目录包括 PCB Fabrication（PCB 制作）文件、Reports（报表）和 Simulation Analyses（仿真分析）等。Design Documents 中不仅仅包含 Protel 中的设计文件，还可以输入任何类型的应用文档，如 Microsoft Word、Microsoft Excel、AutoCAD 等，用户可以直接在设计管理器中打开和编辑这些文档。

1.3　Protel 99 SE 文件管理

建立一个新的设计数据库后，没有进入具体的设计操作环境前，Protel 99 SE 的各菜单主要是进行各种文件命令操作，设置视图的显示方式以及编辑操作。系统仅仅包括“File”

“Edit”“View”“Window”和“Help”共 5 个菜单。

1.3.1 文件管理

文件管理主要通过“File”菜单中的各命令来实现。该菜单命令主要是文件的管理操作，如文件的打开、新项目的建立等，如图 1-7 所示。

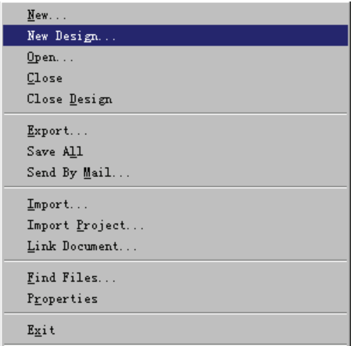


图 1-7 “File”菜单

“File”菜单的各选项功能如下。

1）New：新建一个空白文件，文件的类型可以是原理图 Sch 文件、印制电路板 PCB 文件、原理图元器件库编辑文件 Schlib、印制电路元器件库编辑文件 PCBlib、文本文件以及其他的文件等。选取此菜单项，将会显示“New Document”对话框，如图 1-8 所示，用户可以选择所需建立的文件类型，然后单击“OK”按钮即可。

Protel 99 SE 里提供了丰富的编辑器资源，如图 1-8 所示。各按钮所代表的功能见表 1-1。

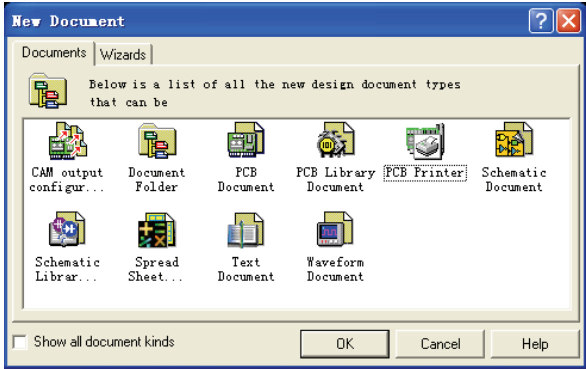


图 1-8 “New Document”对话框

表 1-1 按钮与对应文件类型

按　钮	功　能	按　钮	功　能
CAM output configura...	生成 CAM 制造输出文件	Schematic Document	原理图设计编辑器
Document Folder	建立设计文档或文件夹	Schematic Librar...	原理图元器件编辑器
PCB Document	印制电路板设计编辑器	Spread Sheet Document	表格处理编辑器
PCB Library Document	印制电路板元器件封装编辑器	Text Document	文字处理编辑器
PCB Printer	印制电路板打印编辑器	Waveform Document	波形处理编辑器

2）New Design：新建立一个设计库，在这个设计库中统一管理所有的设计文件，该命令与用户还没有创建数据库前的 New 命令执行过程一致。

3）Open：打开已存在的设计库。执行该命令后，系统将弹出如图 1-9 所示的“Open Design Database”对话框，在其中选择需要打开的文件对象或设计数据库。

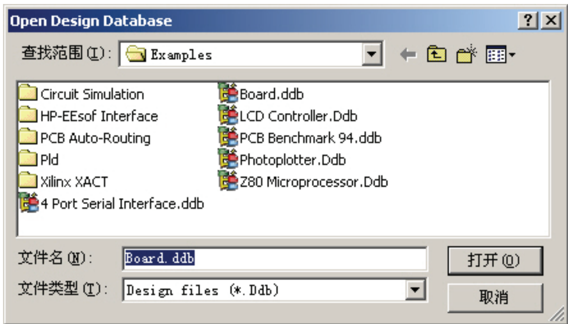


图 1-9 “Open Design Database”对话框

4）Close：关闭当前已经打开的设计文件。

5）Close Design：关闭当前已经打开的设计库。

6）Export：将当前设计库中的一个文件输出到其他路径，在原理图和 PCB 环境下，该命令功能存在一些区别。

7）Save All：保存当前所有已打开的文件。

8）Send by mail：选择该命令后，用户可以将当前设计数据库通过 E-mail 传送到其他计算机。这样对于异地设计和集成很方便。

9）Import：将其他文件导入到当前设计库，成为当前设计数据库中的一个文件，选择此命令，将会显示“Import File”对话框，如图 1-10 所示。选择所需要的文件，将此文件包含到当前设计库中。

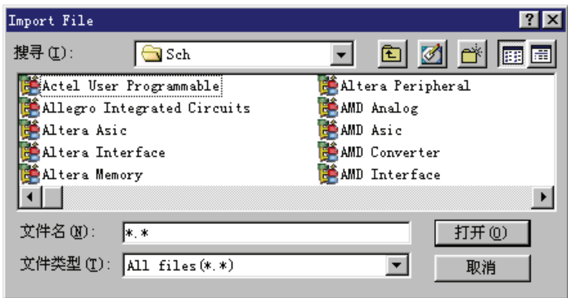


图 1-10 “Import File”对话框

10）Import Project：执行该命令后，可以导入一个已经存在的设计数据库到当前设计平台中，系统将弹出如图 1-11 所示的“Open Design Database”对话框。

11）Link Document：连接其他类型的文件到当前设计库中。执行该命令后，系统弹出如图 1-12 所示的“Link Document”对话框，可以选择其他文档的快捷方式连接到本设计平台。

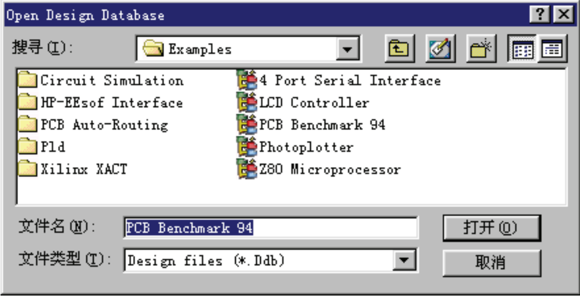


图 1-11 “Open Design Database”对话框

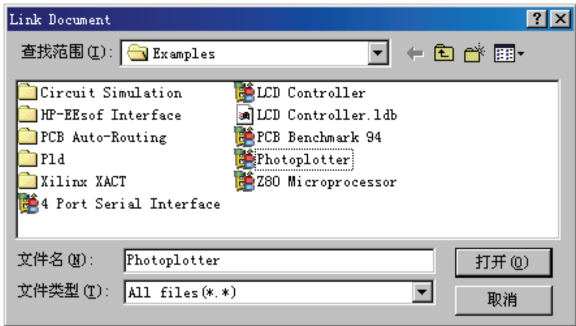


图 1-12 “Link Document”对话框

12）Find Files：选择该命令后，系统将弹出如图 1-13 所示的“Find: All Documents”对话框，用户可以查找设计数据库中或硬盘驱动器上的其他文件，用户可以设置各种不同的查找方式。

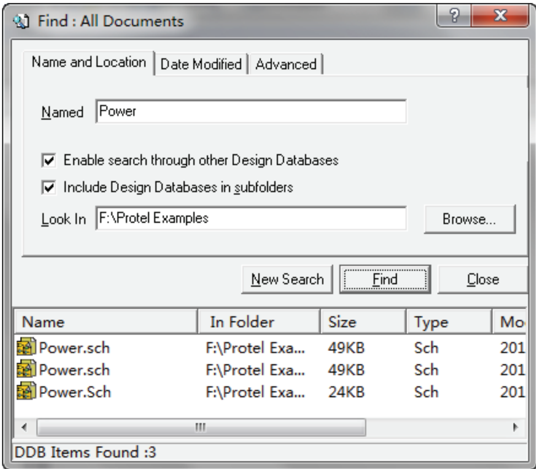


图 1-13 “Find: All Documents”对话框

13）Properties：管理当前设计库的属性。如果先选中一个文件对象后，再执行该命令，则系统将弹出如图 1-14 所示的“Properties”对话框，可以修改或设置文件属性和说明。

对于不同的文件对象，其“Properties”对话框可能不同，这在后面将会进行讲解。

14）Exit：退出 Protel 99 SE 系统。

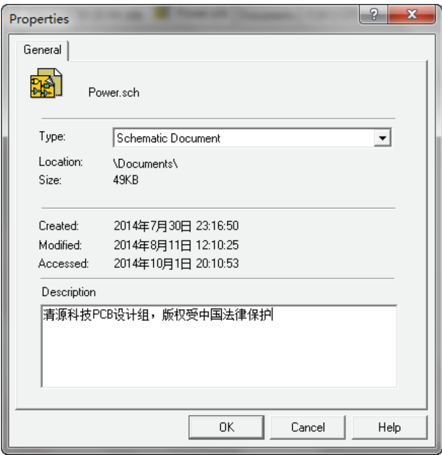


图 1-14 “Properties”对话框

1.3.2 使用快捷菜单

上述部分命令也可以从快捷菜单中输入，用户可以在当前设计数据库的空白地方右击，系统将弹出如图 1-15 所示的快捷菜单，用户可以从中选择操作命令，具体与上面相应的操作一样。

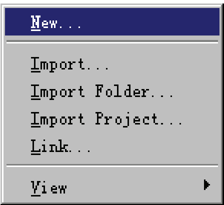


图 1-15 快捷菜单

另外用户也可以使用键盘来实现选择某项命令，如选择“File”→“New”命令，可以使用如下的操作方式，其他命令选择类似。

首先按〈F〉键，用户可以看到系统弹出了一个菜单，然后按〈N〉键，则执行了“New”命令。

使用键盘操作是以前 Protel 低版本的操作方式，目前的最新版本依然保留该功能，可以方便以前的用户使用该软件。

1.3.3 文件编辑

用户可以对文件对象进行复制、剪切、粘贴、删除等编辑操作，文件编辑命令位于“Edit”菜单中，如图 1-16 所示。

图 1-16 “Edit”菜单

1）Cut：对选中的文件实现剪切操作，暂时保存于剪贴板中，然后可以通过粘贴实现复制该文件。

2）Copy：将选中的文件复制到剪贴板中，用户可以通过粘贴实现复制该文件。

3）Paste：该命令用来将已保存在剪贴板中的文档复制到当前位置。

4）Paste Shortcut：该命令用来将剪贴板中的文档的快捷方式复制到当前位置。

5）Delete：该命令用来删除当前选中的文档。如果执行该命令，系统将会弹出对话框，

提示用户是否真的删除该文件。

6）Rename：该命令用来重命名当前选中的文档。执行该命令，选中的文档名将可以编辑修改，如图 1-17 所示，此时用户可以重新输入文件名。

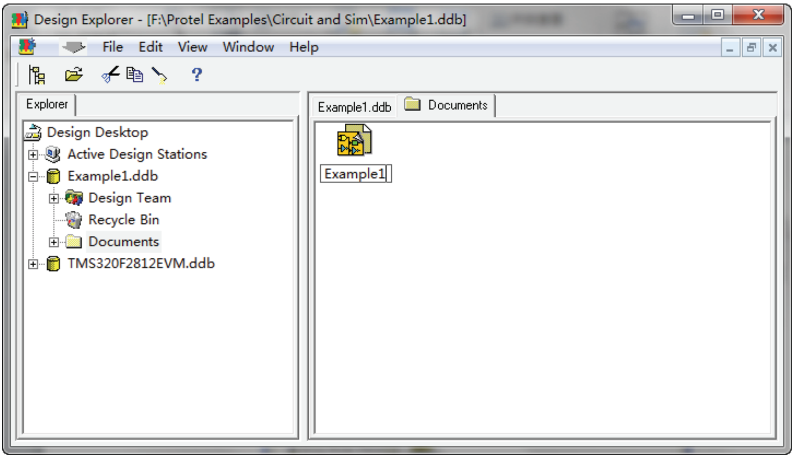


图 1-17　重命名文件

1.3.4　设计管理器

Protel 99 SE 有一个强大的设计管理器，其界面如图 1-18 所示。它允许用户浏览和修改项目设计数据库，包括导航、设计窗口、设计标签、工具栏、状态栏等。

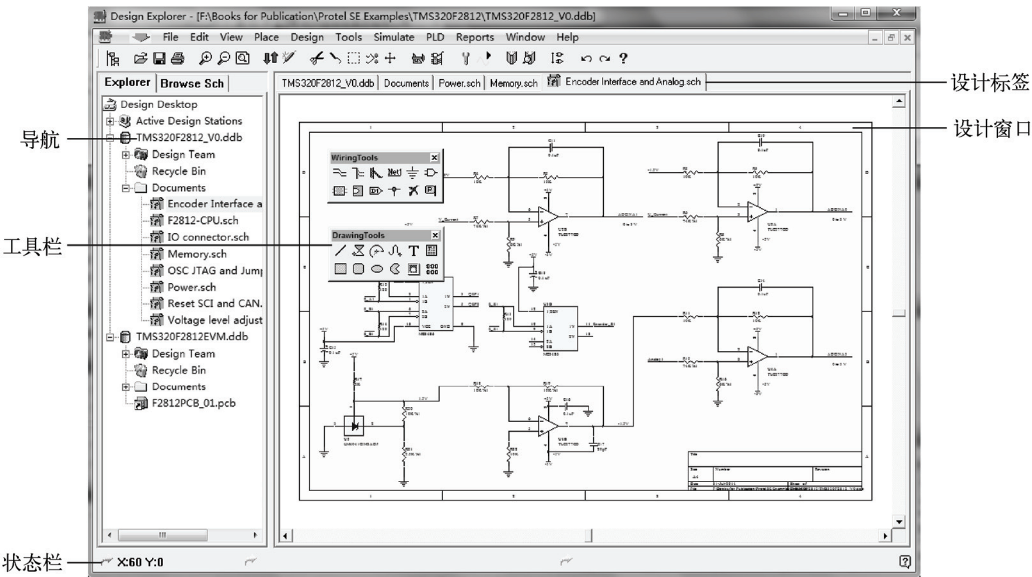


图 1-18　设计管理器

1.3.5　显示辅助查看工具

使用“View”菜单中的命令可以打开一些比较重要的查看和文件操作工具。用户可以实

现设计管理器、状态栏、命令行、工具条、图标等的打开与关闭。

1）Design Manager：设计管理器导航的打开与关闭。如果设计管理器导航当前处于打开状态，则执行该命令为关闭设计管理导航，反之为打开。设计管理器以树状列表形式显示，用户可以通过设计管理器导航进行很方便的设计管理操作。设计管理器导航如图 1-19 所示。

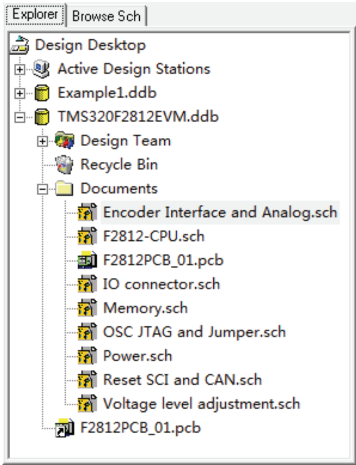


图 1-19　设计管理器导航

通过设计管理器导航，用户可以清楚地查看当前设计平台上设计数据库的情况，也可以导入其他设计数据库到当前设计平台中。

打开设计管理器导航也可以单击工具条上的按钮来实现。

2）Status Bar：状态条的显示与关闭。执行该命令后，可以在设计界面的下方显示或关闭状态条。状态条一般显示设计过程的操作点坐标位置等。

3）Command Status：命令状态的显示与关闭。执行该命令，可以在设计界面的下方显示或关闭命令状态。命令状态显示当前命令的执行情况。

4）Large Icons：显示大图标。执行该命令后，显示当前文件图标为大图标。

5）Small Icons：显示小图标。执行该命令后，显示当前文件图标为小图标。

6）List：显示文件为列表状态。执行该命令后，将以列表状态显示当前设计数据库中的文档。

7）Details：详细显示文件的状态。执行该命令后，将详细显示设计数据库中的文件状态，包括文件名、文件大小、文件类型、修改日期等属性。

8）Refresh：刷新当前设计数据库中的文件状态，也可以直接按〈F5〉键激活该命令。

1.4　设计组管理

Protel 99 SE 提供了一系列的工具来管理多个用户同时操作项目数据库。这为多个设计者同时工作在一个项目设计组提供了安全保障。每个数据库默认都带有设计工作组（Design Team），包括 Members、Permisions、Sessions 共 3 部分，如图 1-20 所示。

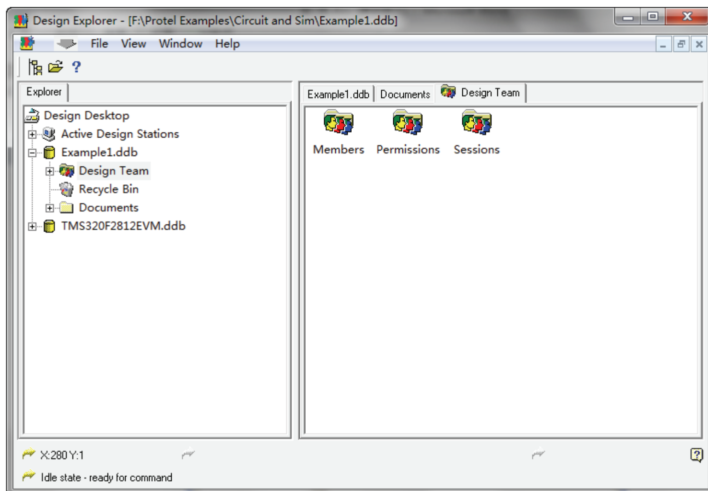
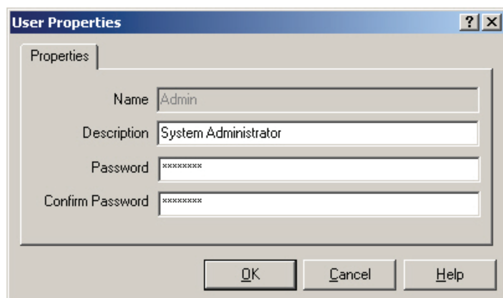


图 1-20 设计工作组

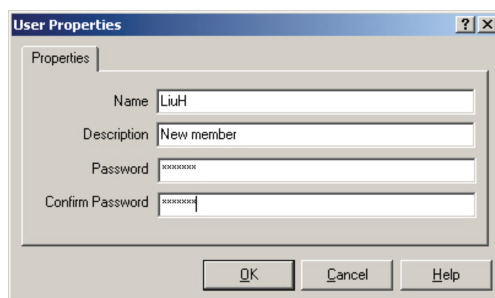
Members 自带两个成员：系统管理员（Admin）和客户（Guest）。当新建一个项目数据库时，建库的用户一般就是此项目的主管。用户可以以系统管理员的身份进入数据库。系统管理员可以进行下述 3 种操作。

1）分配一个系统管理员密码来启动设计数据库。设置文件密码有两种方法，第一是进入 Members 管理区，单击“Admin”按钮，系统将会弹出如图 1-21a 所示的“User Properties”对话框进行设置。另一种可以参考 1.1 节的有关讲解来设置文件密码。

2）创建设计组其他成员。在“Design Team”的“Members”文档面板上右击，在弹出的快捷菜单中选择“New Member”命令，弹出如图 1-21b 所示对话框。此时可以分配组员名字、密码及属性，这样就创建了一个新成员。



a)



b)

图 1-21 “User Properties”对话框

3）设置每个成员的工作权限。对于设计组的成员，可以分别设置各成员的工作权限，具体设计方法如下。

首先双击“Permission”按钮，进入“Permision”操作面板，如图 1-22 所示。然后在“Design Team”的“Permision”文档面板上右击，在弹出的快捷菜单中选择“New Rule”命令，弹出“Permission Rule Properties”对话框，如图 1-23 所示。在该对话框中可以设置各个成员的工作权限。工作权限包括各个成员对设计数据库里的文件进行读（Read）、写

（Write）、删除（Delete）、创建（Create）等操作的权利，如果设置为只读权限（Read），则该设计对象将只能读出，而不能进行其他操作。

图 1-22　成员权限列表

图 1-23　“Permission Rule Properties”对话框

在该对话框中的“User Scope”下拉列表框中，用户可以选择需要设置的对象，包括 Admin、Guest 和 All members。还可以在“Custom Scope”下拉列表框中设定各对象的权限范围。

用户还可以双击需要设置工作权限的对象，也可以打开“权限属性”对话框。还可以在选中需要设置权限的对象后右击，从弹出的快捷菜单中选择“New Rule”命令，也可以进行用户权限设置操作。

一旦把数据库设计成项目工作组模式时，每次启动设计数据库，每个工作组成员只能根据各自的密码在各自被分配的权限范围内进行设计工作。每个成员在进入设计数据库后，能通过 Session 文档查看各文档的权限信息及其他成员打开和锁定文档的信息。

需要强调指出的是，设计工作组的成员及权限只与某个设计数据库有关。它们在不同数据库之间是独立的。

1.5　进入设计环境

Protel 99 SE 系统一共提供了 7 个设计环境，分别是原理图设计与编辑 Sch、印制电路板设计与编辑 PCB、原理图元器件库编辑器 SchLib、印制电路元器件库编辑器 PcbLib、表格处理编辑器 Spread、文字处理编辑器 Text、文件编辑器 Wave Form。

1.5.1　启动原理图设计环境

原理图编辑器实际上就是原理图的设计系统，用户在该系统中可以进行电路原理图的设计，生成相应的网络表，为后面的印制电路板的设计做好准备。进入原理图设计环境的操作过程如下。

1）首先进入 Protel 99 SE 系统，选择“File”→“New”命令建立新的设计数据库，或打开一个已存在的设计数据库，具体操作可参考 1.2 节的讲解。

2）建立或打开设计数据库后，系统将显示如图 1-24 所示的界面。此时用户就可以进行创建新的原理图文件操作。

3）选择当前菜单中的“File”→“New”命令，弹出“New Document”对话框，选择“Sch Document”图标，然后单击“OK”按钮。

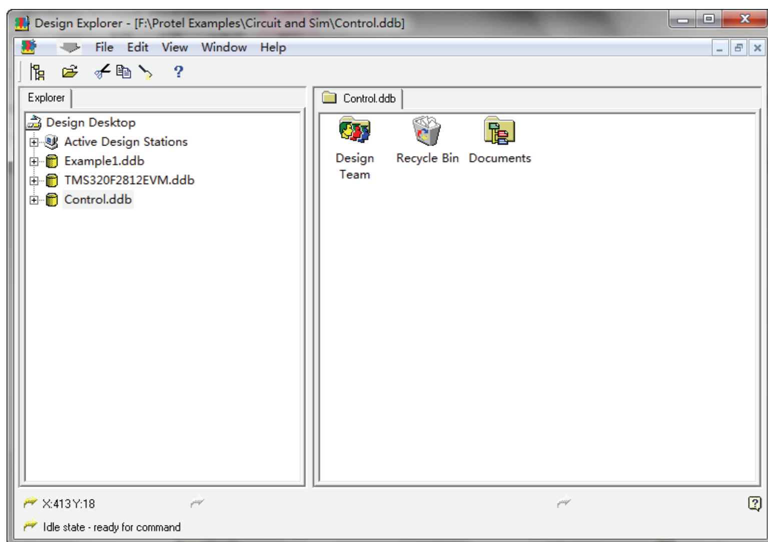


图 1-24　创建新的设计数据库

注意：用户可以在 ddb 数据库文件的根目录下创建新的电路原理图图形文件，也可以双击“Documents”图标，进入 Documents 子目录进行创建新文件操作，创建文件的操作过程一样。

4）新建立的文件将包含在当前的设计数据库中，系统默认的文件名为“Sheet1”，用户可以在设计管理器中更改文件的文件名，更改文件名后显示在设计数据库中，如图 1-25 所示的 Control.sch 文件。

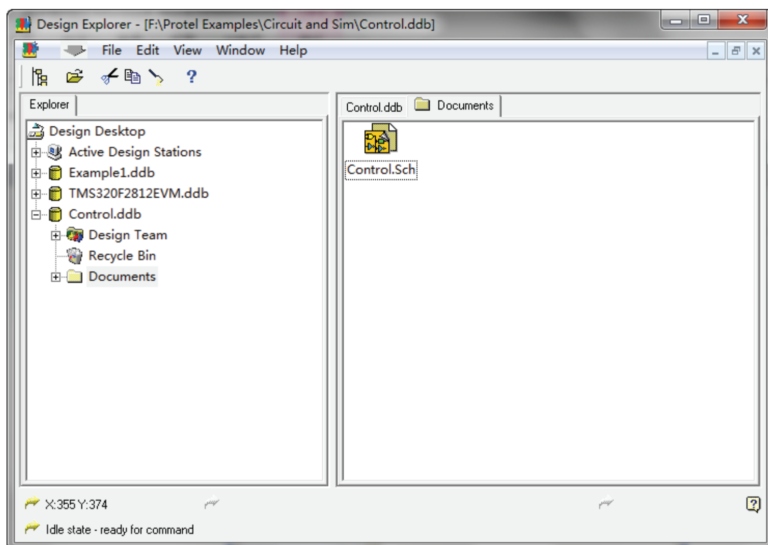


图 1-25　生成的 Control.sch 文件后的视图

单击此文件，系统将进入原理图编辑器，此时用来实现电路原理图设计绘制的工具菜单全部显示出来，如图 1-26 所示，现在就可以进行图形的设计与绘制。

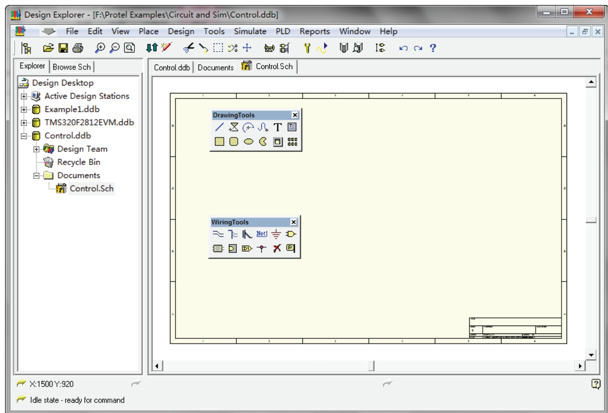


图 1-26　原理图设计编辑界面

1.5.2　启动印制电路板设计界面

印制电路板编辑器实际上是一个 PCB 设计系统，它在前面设计原理图和网络表的基础上，完成印制电路板的设计。启动印制电路板编辑器的过程与原理图类似，其操作步骤如下。

1）首先运行 Protel 99 SE 应用程序，进入 Protel 99 SE 系统，选择“File”→“New”命令建立新的设计数据库，或打开一个已存在的设计数据库，具体操作可参考 1.2 节的讲解。

2）建立或打开设计数据库后，系统将显示如图 1-24 所示的界面。此时用户就可以创建新的原理图文件。

3）选择当前菜单中的“File”→“New”命令，弹出“New Document”对话框，选择“PCB Document”图标，然后单击“OK”按钮。

注意：用户可以在“*.ddb”数据库文件的根目录下创建新的 PCB 图形文件，也可以双击“Documents”图标，进入 Documents 子目录中进行创建新文件操作，创建文件的操作过程一样。

4）新建立的文件将包含在当前的设计数据库中，系统默认的文件名为“PCB1”，用户可以在设计管理器中更改文件的文件名，更改文件名后显示在设计数据库中。

单击此文件，系统将进入印制电路板编辑器，此时可以用来实现电路原理图设计绘制的工具菜单全部显示出来，如图 1-27 所示，现在就可以进行图形的设计与绘制。

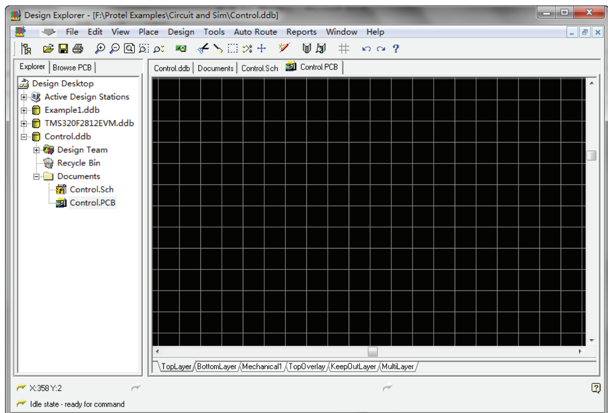


图 1-27　印制电路板编辑器界面

1.6 设置 Protel 99 SE 界面环境

对于最新接触 Protel 99 SE 的用户来说，了解 Protel 99 SE 界面环境设置是学习该软件的重要一步，因为没有设置好界面，用户有可能会产生一些误解。本节就主要讲述两个方面的环境设置，即屏幕分辨率设置和系统参数设置。

1.6.1 屏幕分辨率

EDA 程序对屏幕分辨率的要求一向比其他类型的应用程序要高一些。例如在 Advanced Schematic 中，如果屏幕分辨率没有达到 1024×768，则某些控制面板就会被切掉一部分，此时用户将无法使用到被遮掉的那部分。在这种情形下当然是很不方便，所以建议用户尽量将屏幕分辨率调高到 1024×768 以上。

当屏幕尺寸太小时，在高分辨率方式下屏幕上的字体就会变得很小，以至于看起来很吃力，所以配置大尺寸的显示器是非常必要的。当然，高分辨率的显示器必须要有相应的显示卡与之配合。配有 1MB 显存的显示卡可以支持 1024×768（256 色），对于 Advanced Schematic 来说这已经够用了。但如果显示卡配有 2MB 以上的显存，则可支持更高的分辨率及更多的色彩，比如在 1024×768 分辨率下可以显示 65 536 种颜色。

1.6.2 系统参数设置

系统参数设置可以使用户清楚地了解操作界面和对话框的内容，因为有时候，如果界面字体设置不合适，界面上的字符可能没法完全显示出来，如图 1-28 所示，这就要设置合适的界面参数。

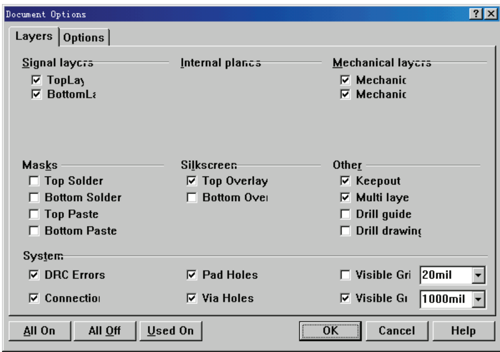


图 1-28 字符没有完全显示的对话框界面

1．界面字体设置

从 Protel 99 SE 的主界面左上角的下拉命令菜单中选择“Preferences”命令，如图 1-29 所示，系统将弹出如图 1-30 所示的“Preferences”对话框。

在该对话框中，取消“Use Client System Font For All Dialogs”复选框的选择，然后单击“OK”按钮，退出此对话框，则系统界面字体就变小，并且在屏幕上全部显示出来。

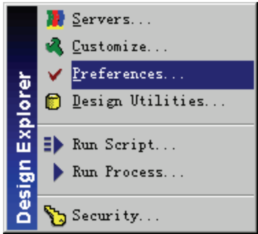


图 1-29 “Design Explorer”菜单

如图 1-31 所示即为设置了字体后的对话框。

单击如图 1-30 所示对话框的“Change System Font”按钮，还可以设置系统的字体。

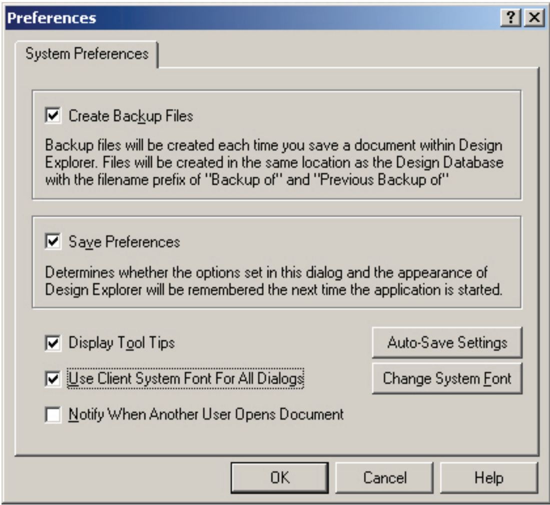


图 1-30 “Preference”对话框

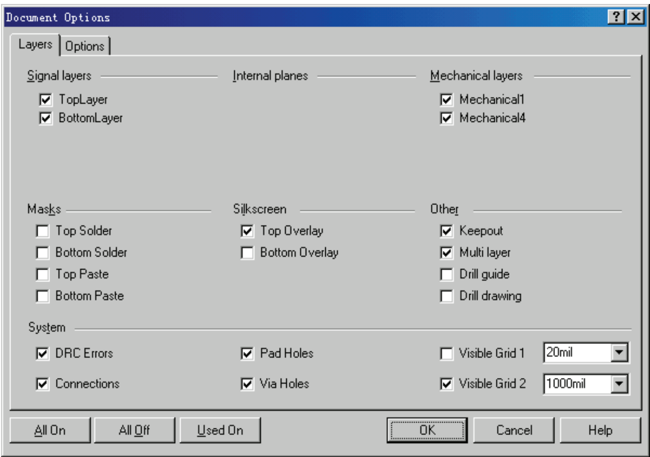


图 1-31 设置了系统界面字体后的对话框

2．设置自动创建备份文件

如果在设计绘图时，需要系统自动创建备份文件，则可以选中“Preferences”对话框中的“Create Backup Files”复选框，则系统将会备份保存修改前的图形文件。

3．自动保存文件

如果用户希望在设计工作过程中，系统定时自动保存文件，则可以单击“Preferences”对话框中的“Auto-Save Settings”按钮，系统将会弹出如图 1-32 所示的“Auto Save”对话框。

通过该对话框，用户可以设置自动保存参数，对话框各操作项具体意义如下。

1）“Options”选项组：该选项组的各操作选项用来设置参数。

- Enable：选中该复选按钮，则可以对“Options”选项组的其他选项进行设置。

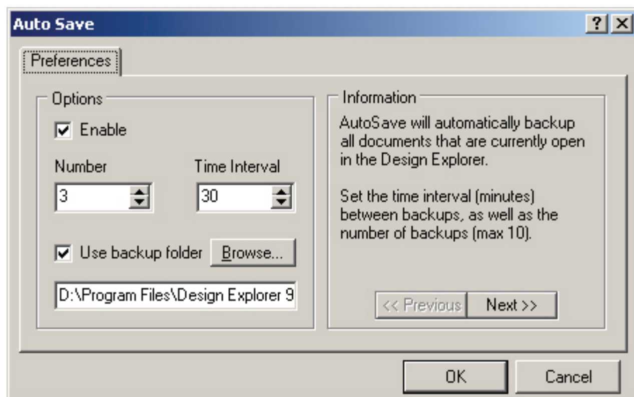


图 1-32 “Auto Save”对话框

- Number：该文本框可以设置一个文件的备份数，一个文件最大备份数量为 10。
- Time Interval：该文本框用来设置备份文件的时间间隔，单位为分钟。
- Use Back Folder：选中该复选按钮后，系统将备份文件保存在备份文件夹，用户可以输入备份文件夹。

2）Information 信息框：该信息框主要用来显示设置信息，用户可以按“Next”按钮察看下一屏信息。

4．系统参数设置保存

如果用户需要将设置的参数保存起来，则可以选中“Preferences”对话框中的“Save Preferences”复选框。

习题

以 Control.ddb 为文件名创建一个项目数据库。

第 2 章　设计电路原理图

第 1 章主要讲述了 Protel 99 SE 的文件操作、主要特点，以及相关的基础知识。本章正式进入电路设计系统的讲解。电路设计的第一步就是进行原理图设计，读者通过本章的学习，就可以进行一般的原理图设计。

2.1　电路板和电路原理图的设计步骤

电路板设计通常包括原理图设计过程和电路板设计过程，下面分别简述电路板设计的一般步骤和电路原理图设计的一般步骤。

2.1.1　电路板设计的一般步骤

一般来说，设计电路板最基本的过程可以分为以下 5 个操作步骤。

1．电路原理图的设计

电路原理图的设计主要是利用 Protel 99 SE 的原理图设计系统（Advanced Schematic）来绘制一张电路原理图。

2．生成网络表

网络表是电路原理图设计（Sch）与印制电路板设计（PCB）之间的一座桥梁。网络表可以从电路原理图中获得，也可从印制电路板中提取。

3．印制电路板的设计

印制电路板的设计主要是针对 Protel 99 SE 的另外一个重要的部分 PCB 而言的，在这个过程中，借助 Protel 99 SE 提供的强大功能实现电路板的板面设计，完成高难度的布线工作。

4．生成印制电路板报表

设计了印制电路板后，还需要生成印制电路板的有关报表，并打印印制电路图。

5．电路仿真和信号分析

在设计 PCB 时，为了获得一个符合设计目标的印制电路板，通常在设计过程还需要对原理图进行仿真，并对 PCB 进行信号分析，特别是对于高速信号电路，信号分析是非常有用的。

2.1.2　电路原理图设计的一般步骤

电路原理图设计是整个电路设计的基础，它决定了后面工作的进展。一般地，设计一个电路原理图的工作包括：设置电路图图纸大小，规划电路图的总体布局，在图纸上放置元器件，进行布局和布线，然后对各元器件以及布线进行调整，最后保存并打印输出。电路原理图的设计过程一般可以按图 2-1 所示的设计流程进行。

1）启动 Protel 99 SE 电路原理图编辑器。用户首先必须启动原理图编辑器，才能进行设

计绘图工作，该操作可参考 1.5 节。

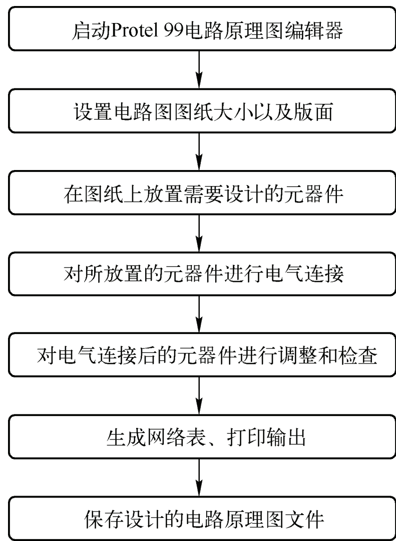


图 2-1　电路原理图设计一般流程

2）设置电路图图纸大小以及版面。设计绘制原理图前必须根据实际电路的复杂程度来设置图纸的大小，设置图纸的过程实际上是一个建立工作平面的过程，用户可以设置图纸的大小、方向、网格大小以及标题栏等。

3）在图纸上放置电路原理图的元器件。这个阶段，就是用户根据实际电路的需要，从元器件库里取出所需的元器件放置到工作平面上。用户可以根据元器件之间的走线等联系对元器件在工作平面上的位置进行调整、修改，并对元器件的编号、封装进行定义和设定等，为下一步工作打好基础。

4）对所放置的元器件进行电气连接。该过程实际就是一个绘图的过程。用户利用 Protel 99 SE 提供的各种工具、指令进行电气连接，将工作平面上的元器件用具有电气意义的导线、符号连接起来，构成一个完整的电路原理图。

5）对布局布线后的元器件进行调整和检查。在这一阶段，用户利用 Protel 99 SE 所提供的各种强大功能对所绘制的原理图进行进一步的调整和修改，以保证原理图的美观和正确。这就需要对元器件位置重新调整，删除、移动导线位置，更改图形尺寸、属性及排列。还需要对原理图的电气连接等进行检查。

6）生成网络表，并打印输出和保存文档。原理图的元器件进行电气连接后，可以生成网络表，以便为后续的 PCB 设计做好准备。此后可以打印输出文档，并对设计完的原理图进行存盘。

2.2　Protel 99 SE 电路图设计工具

在讲述如果使用 Protel 99 SE 进行详细的原理图设计之前，先简单介绍一下 Protel 99 SE 的原理图设计工具栏。

2.2.1 电路原理图设计工具栏

Protel 99 SE 的工具栏有 Main Tools（主工具栏）、Wiring Tools（原理图布线工具栏）、Drawing Tools（绘图工具栏）、Power Tools（电源及接地工具栏）、Digital Tools（常用元器件工具栏）、Simulation Sources（信号仿真源工具栏）、PLD Tools（PLD 工具栏）等，如图 2-2 所示。充分利用这些工具会极大地方便电路图的绘制，下面就介绍几个主要工具栏的打开与关闭。

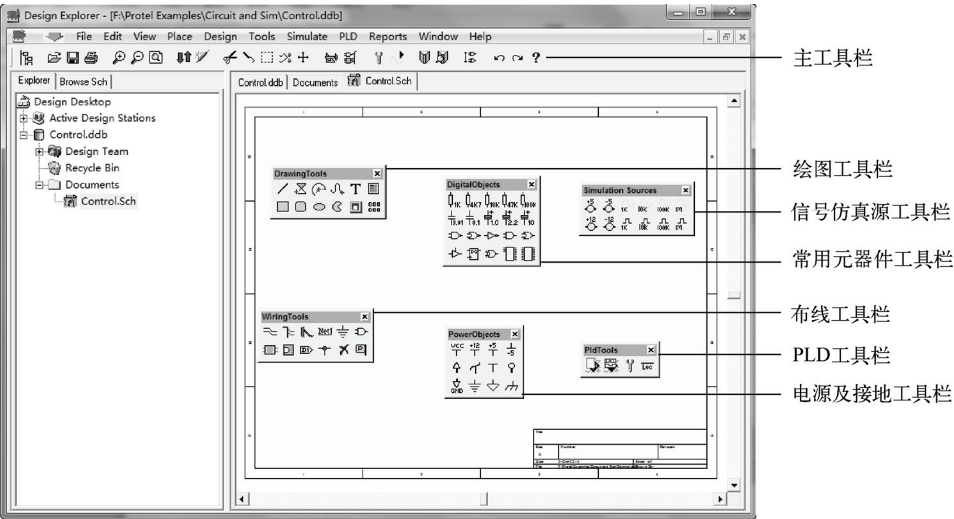


图 2-2　电路原理图绘制工具栏说明

1．主工具栏

打开或关闭主工具栏可选择“View”→“Toolbars”→“Main Tools”命令，如图 2-3 所示。该工具栏打开后，结果如图 2-2 中的工具栏所示。

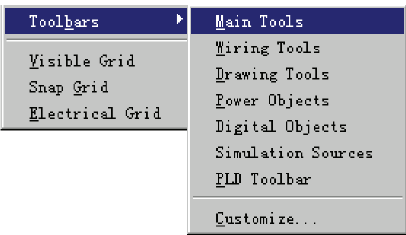


图 2-3　装载工具栏菜单

2．布线工具栏

打开或关闭布线工具可选择“View”→“Toolbars”→“Wiring Tools”命令，该工具栏打开后，结果如图 2-2 中的工具栏所示。

3．绘图工具栏

打开或关闭绘图工具可选择“View”→“Toolbars”→“Drawing Tools”命令。该工具栏打开后，结果如图 2-2 中的工具栏所示。

4．电源及接地工具栏

打开或关闭电源及接地工具栏可选择"View"→"Toolbars"→"Power Objects"命令。该工具栏打开后，结果如图 2-2 中的工具栏所示。

5．常用元器件工具栏

打开或关闭常用元器件工具栏可选择"View"→"Toolbars"→"Digital Objects"命令。该工具栏打开后，结果如图 2-2 中的工具栏所示。

而信号仿真源工具栏和 PLD 工具栏主要是在信号仿真和 PLD 逻辑器件设计时使用，这将在本书后面的有关章节讲述。

2.2.2 图样的放大与缩小

电路设计人员在绘图的过程中，需要经常查看整张原理图或只看某一个局部，所以要经常改变显示状态，使绘图区放大或缩小。

1．使用键盘实现图纸的放大与缩小

当系统处于其他绘图命令下时，用户无法用鼠标去执行一般的命令，此时要放大或缩小显示状态，必须采用功能键来实现。

1）放大：按〈PageUP〉键，可以放大绘图区域。

2）缩小：按〈PageDown〉键，可以缩小绘图区域。

3）居中：按〈Home〉键，可以从原来光标下的图纸位置，移位到工作区中心位置显示。

4）更新：按〈End〉键，对绘图区的图形进行更新，恢复正确的显示状态。

5）移动当前位置：按〈↑〉键可上移当前查看的图纸位置，按〈↓〉键可下移当前查看的图纸位置，按〈←〉键可左移当前查看图纸的位置，按〈→〉键可右移当前查看图纸的位置

2．使用菜单放大或缩小图纸显示

Protel 99 SE 提供了"View"下拉菜单来控制图形区域的放大与缩小，这可以在不执行其他的命令时使用这些命令，否则使用键盘操作。"View"菜单如图 2-4 所示。下面介绍菜单中主要命令的功能。

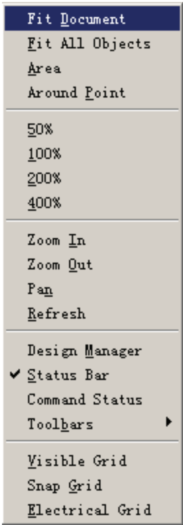


图 2-4 "View"菜单

1）Fit Document 命令：该命令显示整个文件，可以用来查看整张电路图。

2）Fit All Objects 命令：该命令使绘图区中的图形填满工作区。

3）Area 命令：该命令放大显示用户设定的区域。这种方式是通过确定用户选定区域中对角线上的两个角的位置，来确定需要进行放大的区域。首先执行此菜单命令；其次移动十字光标到目标的左上角位置，然后拖动鼠标，将光标移动到目标的右下适当位置，再单击加以确认，即可放大所选的区域。

4）Around Point 命令：该命令放大显示用户设定的区域。这种方式是通过确定用户选定区域的中心位置和选定区域的一个角的位置，来确定需要进行放大的区域。首先执行此菜单命令，其次移动十字光标到目标区的中心单击；然后移动光标到目标区的右下角，再单击加以确认，即可放大该选定区域。

5）用不同的比例显示：View 菜单命令提供了 50%、100%、200%和 400%共 4 种显示方式。

6）Zoom In/Zoom Out：放大/缩小显示区域。

7）Pan：移动显示位置。在设计线路时，经常要查看各处的电路，所以有时需要移动显示位置，这时可执行此命令。在执行本命令之前，要将光标移动到目标点，然后执行“Pan”命令，目标点位置就会移动到工作区的中心位置显示。也就是以该目标点为屏幕中心，显示整个屏幕。

8）Refresh：更新画面。在滚动画面、移动元器件等操作时，有时会造成画面显示含有残留的斑点或图形变形问题，这虽然不影响电路的正确性但不美观。这时，可以通过执行此菜单命令来更新画面。

2.3 设置图纸

设计原理图通常需要在工程图纸上输出。Protel SE 99 位原理图设计提供了图纸设置的各种功能。

2.3.1 图纸大小设置

用大小合适的图纸来绘制电路图，可以使显示和打印都相当清晰，而且也比较节省磁盘存储空间。

1．选择标准图纸

可选择“Design”→“Options”命令，系统将弹出“Document Options”对话框，选择“Sheet Options”选项卡，即可对图纸的大小进行设置，如图 2-5 所示。

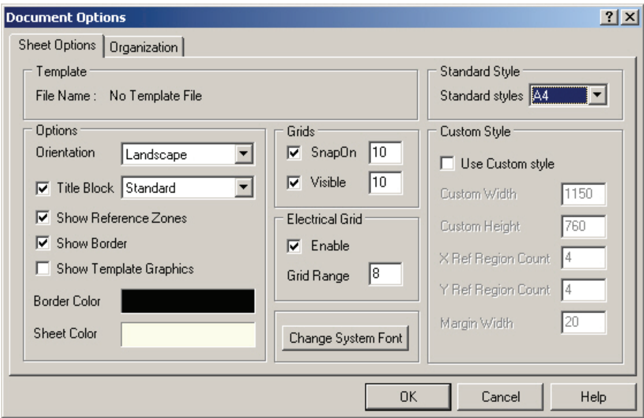


图 2-5 “Sheet Options”选项卡

Protel 99 SE Schematic 提供了十多种广泛使用的英制及公制图纸尺寸供用户选择。根据实际需要，用户也可以自定义图纸的尺寸。Protel 99 SE 也提供了标准尺寸的图纸，用户可以在图 2-5 所示对话框的“Standard Styles”选项组的下拉列表框中选取。

2．自定义图纸

如果需要自定义图纸尺寸，必须设置如图 2-5 所示“Custom Style”选项组中的各个选项。首先，必须在“Custom Style”选项组中选中“Use Custom style”复选按钮，以激活自

定义图纸功能。

“Custom Style”选项组中其他各项设置的含义如下。

1）“Custom Width”文本框：自定义图纸的宽度，在此定义图纸宽度为 600。

2）“Custom Height”文本框：自定义图纸的高度，在此定义图纸高度为 400。

3）“X Ref Region Count”文本框：X 轴参考坐标分格，在此定义分格数为 4。

4）“Y Ref Region Count”文本框：Y 轴参考坐标分格，在此定义分格数为 4。

5）“Margin Width”文本框：边框的宽度，在此定义边框宽度为 20。

根据上述参数定义的图纸大小如图 2-6 所示，这样就自定义了一张自己的图纸。

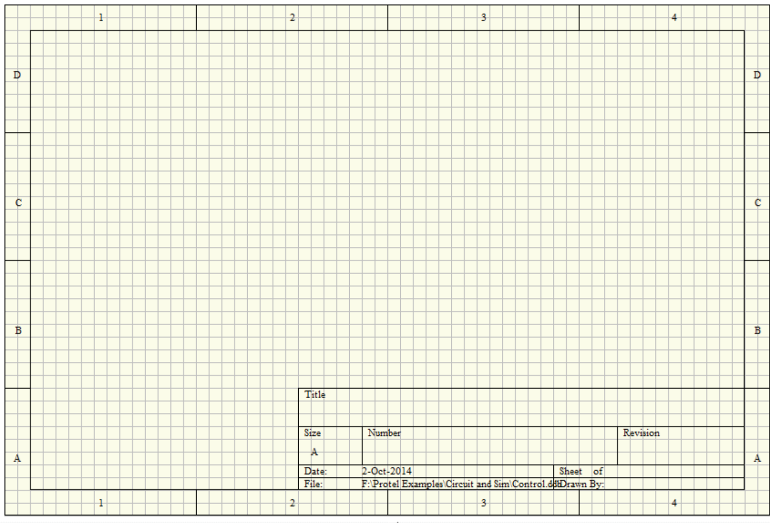


图 2-6　自定义图纸

2.3.2　图纸方向

1．设置图纸方向

图纸是纵向还是横向，以及边框的颜色等的设置，可选择“Design”→“Options”命令来实现。执行该命令后，系统将弹出“Document Options”对话框，并在其中选择“Sheet Options”选项卡进行设置，如图 2-5 所示。

Schematic 允许电路图图纸在显示及打印时选择为“Landscape（横向）”或“Portrait（纵向）”格式。具体设置可在“Options”选项组中的“Orientation（方位）”下拉列表框中选取。通常情况下，在绘制及显示时设为横向，在打印时设为纵向打印。

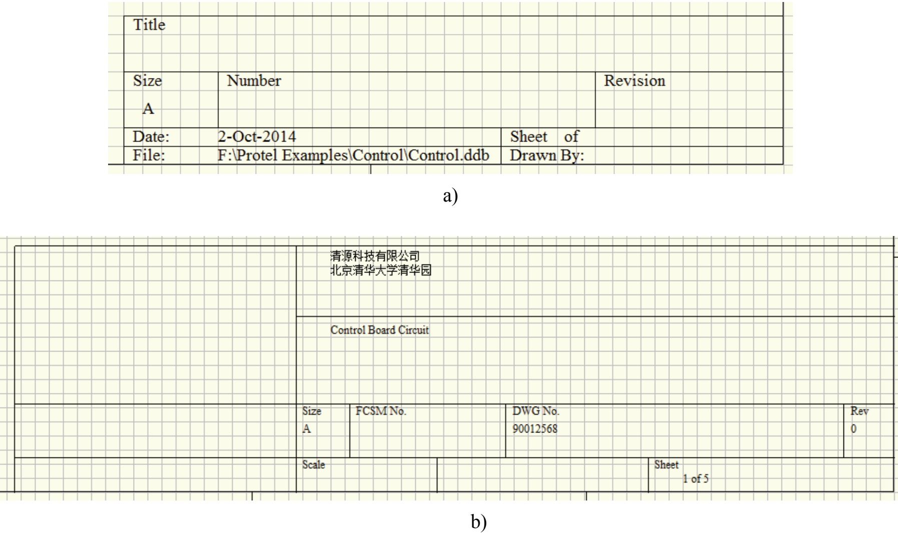
2．设置图纸标题栏

Protel 提供了两种预先定义好的标题栏，分别是“Standard（标准）”形式和“ANSI”形式，如图 2-7 所示。具体设置可在“Options”选项组中的“Title Block（标题块）”右边的下拉列表框中选取，如图 2-5 所示。

“Show Reference Zones”复选框用来设置边框中的参考坐标。如果选择该选项，则显示参考坐标，否则不显示，一般情况下都应该选中。

“Show Border”复选框用来设置是否显示图纸边框，如果选中则显示，否则不显示。当

显示图纸边框时，可用的绘图工作区将会比较小，所以要使图纸有最大的可用工作区，可考虑将边框隐藏。不过由于某些打印机和绘图仪不能打印到图纸边框的区域，因此在实际工作中需要多测试几次，以确定出真正的可用工作区。另外，Schematic 还允许在打印时以一定的比例缩小输出，以作为补偿。



a)

b)

图 2-7　标题栏的类型

a) 标准形式标题栏　b) ANSI 形式的标题栏

“Show Template Graphics”复选框主要设置是否显示画在样板内的图形、文字及专用字串等。通常，为了显示自定义的标题区块或是公司商标才选择该项。

2.3.3　设置图纸颜色

图纸颜色设置，包括“Border Color（图纸边框色）”和“Sheet Color（图纸底色）”的设置。

1）在图 2-5 中，“Border Color”选项用来设置边框的颜色，默认设置为黑色。在右边的颜色框中单击，系统将会弹出“Choose Color（选择颜色）”对话框，如图 2-8 所示，可通过它来选取新的边框颜色。

2）“Sheet Color”选项用来设置绘图纸的底色，默认的设置为浅黄色。要变更底色时，请在该栏右边的颜色框上双击，打开“Choose Color”对话框，然后选取出新的图纸底色。

“Choose Color”对话框的“Basic colors”框中列出了当前 Schematic 可用的 239 种颜色，并定位于当前所使用的颜色。如果用户希望变更当前使用的颜色，可直接在“Basic colors”栏或“Custom colors”栏中单击选取。

如果用户希望自定义颜色，可单击“Define Custom Colors”按钮，即可打开如图 2-9 所示的“颜色”对话框。这是一个 Windows 系统的对话框，可以对色调（E）、饱和度（S）、亮度（L）、红（R）、绿（G）、蓝（B）等进行设置，调出满意的颜色后，单击按钮将它加入到自定义颜色栏中。

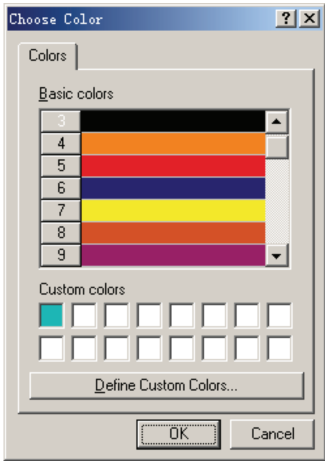


图 2-8 “Chose Color”对话框

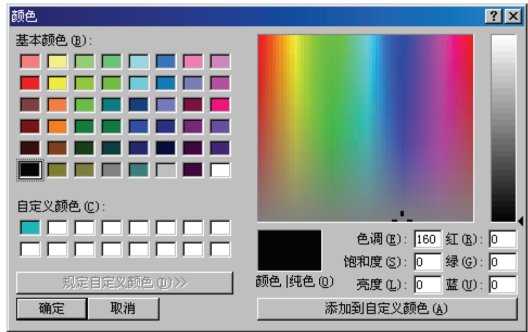


图 2-9 “颜色”对话框

2.3.4 设置图纸的设计信息

单击如图 2-5 所示的“Organization（组织）”标签，其选项卡如图 2-10 所示，在该选项卡中可以设置图纸的信息，例如组织名称、地址、图纸号、图纸的标题、文件编号、版本等信息。这些信息会显示在 ANSI 形式的标题栏中。

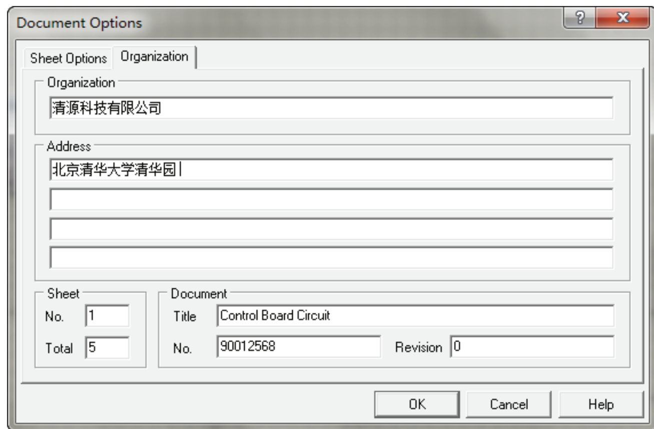


图 2-10 “Organization”选项卡

2.3.5 设置系统字体

在 Protel 图样中常常需要插入汉字或英文，系统可以为这些插入的字设置字体，如果在插入文字时，不单独进行修改字体，则默认使用系统的字体。系统字体的设置可以使用字体设置模块来实现。

当设置系统字体时，可以选择“Design”→“Options”命令，系统将弹出如图 2-5 所示的对话框，然后进入“Sheet Options”选项卡，此时单击“Change System Font”按钮，系统将弹出如图 2-11 所示的“字体”对话框。此时就可以设置系统的字体。

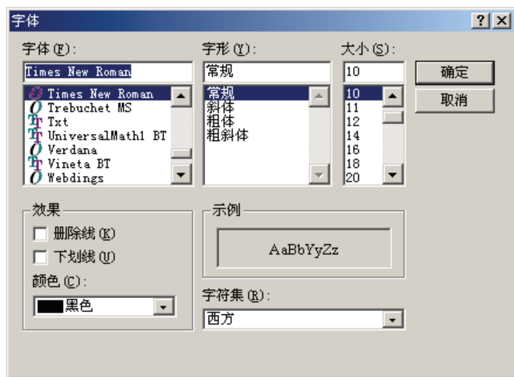


图 2-11 “字体”对话框

2.4 网格和光标设置

在设计原理图时，图纸上的网格为放置元器件、连接线路等设计工作带来了极大的方便。在进行图纸的显示操作时，可以设置网格的种类以及是否显示网格，也可以对光标的形状进行设置。

2.4.1 设置网格

Protel 99 SE 提供了两种不同形状的网格，分别是“Line（线状网格）”和“Dot（点状网格）”，如图 2-12 和图 2-13 所示。

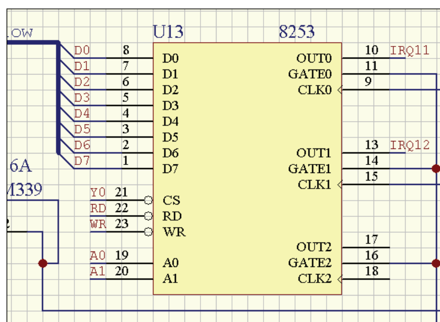


图 2-12 线状网格电路图

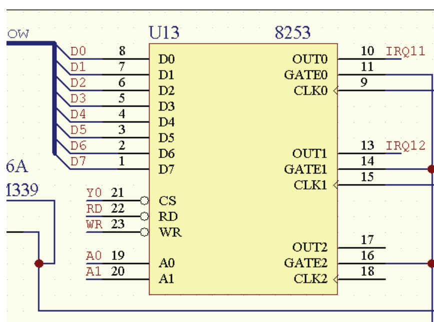


图 2-13 点状网格电路图

设置网格可以选择“Tools”→“Preferences”命令来实现。执行该命令后，系统将会弹出如图 2-14 所示的“Preferences”对话框。在“Graphical Editing”选项卡中，此时可以单击“Cursor/Grid Options”选项组的“Visible Grid（可见网格）”选项的下拉列表框，就可以选择所需的网格类型。

如果想改变网格颜色可以单击“Color Options”选项组的“Grid Color（网格颜色）”选项进行颜色设置。具体颜色设置方法与 2.3 节中的图纸颜色设置操作类似，不过设置网格的颜色时，要注意不要设置太深，否则会影响后面的绘图工作。

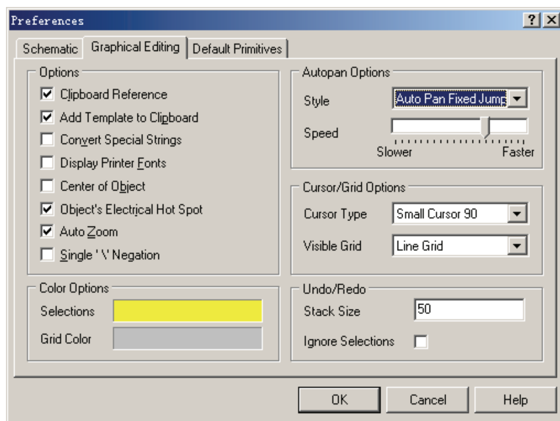


图 2-14 “Preferences”对话框

如果用户想设置网格是否可见，则可以选择“Design”→“Options”命令，系统将弹出“Document Options”对话框，并选择“Sheet Options”选项卡，在“Grids”选项组中对“SnapOn”和“Visible”两个选项来操作，就可以设置网格的可见性。

1）“SnapOn”复选框：这项设置可以改变光标的移动间距，选中此项表示光标移动时以 SnapOn 右边的设置值为基本单位移动，系统默认值为 10；不选此项，则光标移动时以 1 个像素点为基本单位移动。

2）“Visible”复选框：选中此项表示网格可见，可以在其右边的设置框内输入数值来改变图纸网格间的距离，图 2-5 中表示网格间的距离为 10 个像素点；不选此项表示在图纸上不显示网格。

如果将“SnapOn”和“Visible”设置成相同的值，那么光标每次移动一个网格；如果将“Visible”设置为 20，而将“SnapOn”设置为 10 的话，那么光标每次移动半个网格。

2.4.2 电气节点

在如图 2-5 所示的“Electrical Grid”选项组中，其各选项与设置电气节点有关。如果选中此项，则在画导线时，系统会以“Grid”中设置的值为半径，以光标所在位置为中心，向四周搜索电气节点。如果在搜索半径内有电气节点的话，就会将光标自动移到该节点上，并且在该节点上显示一个圆点；如果取消该项功能，则无自动寻找节点的功能。选择“Enable”选项，表示选择该项功能；“Grid Range（节点范围）”设置框可以用来设置搜索半径。

注意：设置网格是否可见，还可以选择“View”→“Visible Grid”命令来实现，如果当前没有显示网格，则执行该命令就可以显示网格。另外“View”→“Snap Grid”和“Electrical Grid”命令选项与上面对应讲述的功能一样。

2.4.3 设置光标

光标是指在画图、放置元器件和连接线路时的光标形状。设定光标可以选择“Tools”→“Preferences”命令，系统弹出“Preferences”对话框，选取“Graphical Editing”选项卡。

单击“Cursor/Grid Options”选项组中的“Cursor Type（光标类型）”选项框右边的下拉

按钮，在下拉列表中可以选择光标类型，系统提供了 Large Cursor 90、Small Cursor 90 和 Small Cursor 45 三种光标类型，如图 2-15 所示。

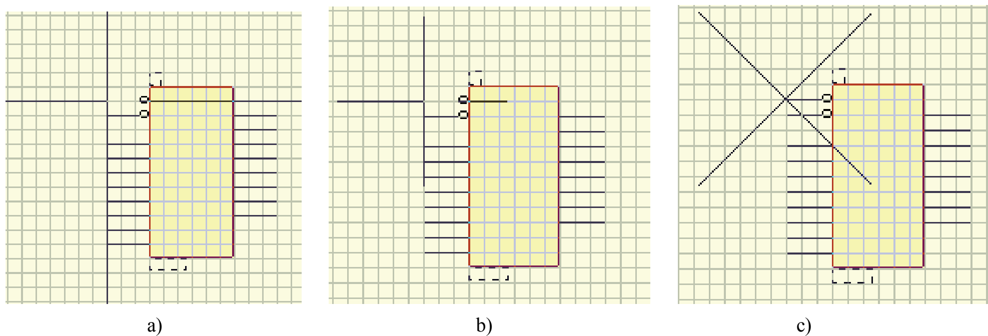


图 2-15　光标类型

a) 大光标　b) 小光标　c) 交叉 45°光标

2.5　加载元器件库

在电路图中放置元器件之前，必须先将该元器件所在的元器件库加载到当前设计项目中才行。加载元器件库的步骤如下。

1）单击设计管理器中的“Browse Sch”选项卡，然后单击“Add/Remove”按钮，弹出如图 2-16 所示的“Change Library File List（改变库文件列表）”对话框。用户也可以选择“Design”→“Add/Remove Library”命令来打开此对话框。

2）在“Design Explorer 99\Library\Sch”文件夹下选取元器件库文件，然后单击“Add”按钮，此元器件库就会出现在“Selected Files”列表框中，如图 2-16 所示。元器件库文件类型为“*.ddb”文件。

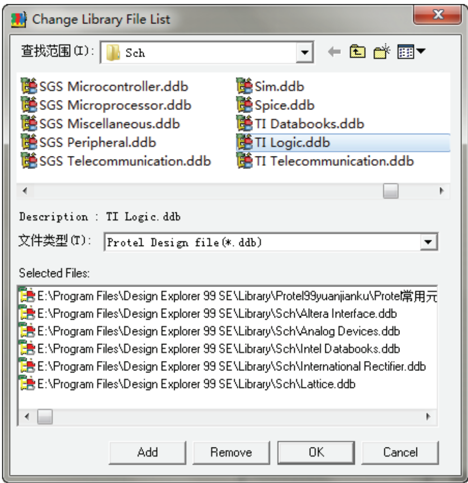


图 2-16　“Change Library File List”对话框

3）单击“OK”按钮，完成该元器件库的添加。将所需要的元器件库添加到当前编辑环境下后，元器件库的详细列表将显示在设计管理器中，如图 2-17 所示。

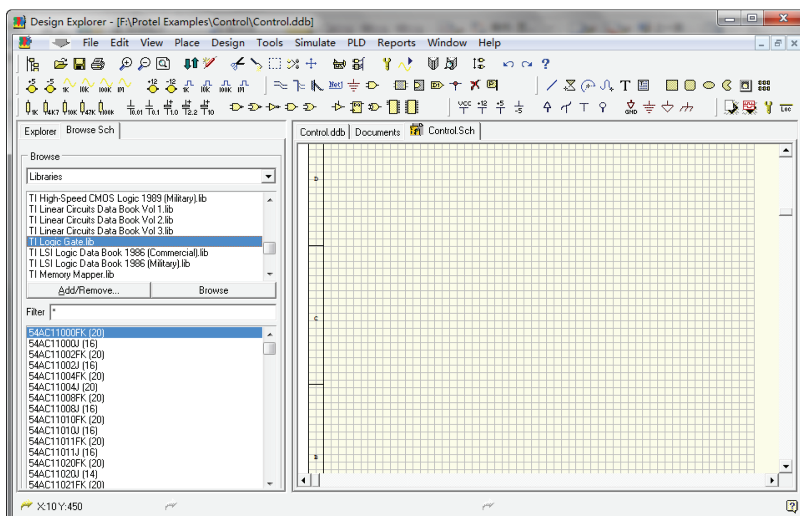


图 2-17　添加了元器件库后的设计管理器

说明：Protel 已经将各大半导体公司的常用器件分类做好了专用的元器件库，只要加载所需要的元器件的生产公司的元器件库，就可以从中选择自己所需要的元器件。另外有两个常用的库，Sim.ddb 和 PLD.ddb 元器件库，前者包括了一般电路仿真所需要用到的常用元器件，而后者主要包括逻辑器件设计所需要用到的元器件。

注意：如果是在 Windows 7 平台上安装 Protel 99 SE，那么在装载元器件库会存在文件不识别的问题（File is not recognized）。这时候需要按如下操作方法来装载元器件库。

1）修改 ADVSCH99SE.INI 文件。在修改 ADVSCH99SE.INI 前需要退出 Protel，因为 Protel 退出时会修改这两个文件。ADVSCH99SE.INI 保存在 C:\Windows\Advsch99se.ini。

首先用记事打开 ADVSCH99SE.INI 文件，在[Change Library File List]下找到 File0，“=”后面的内容就是默认已经添加的库。如要添加多个库就在 File0 后面添 File1、File2、……、依次类推，最后还需要修改 File0 上面的 Count 属性，如果添了 5 个库，就把它的值改为 5。按如下方法修改即可：

TypeCount=2

Count=62

File0=E:\Program Files\Design Explorer 99 SE\Library\Sch\Actel User Programmable.ddb

File1=E:\Program Files\Design Explorer 99 SE\Library\Sch\Allegro Integrated Circuits.ddb

File2=E:\Program Files\Design Explorer 99 SE\Library\Sch\Altera Asic.ddb

File3=E:\Program Files\Design Explorer 99 SE\Library\Sch\Altera Interface.ddb

File4=E:\Program Files\Design Explorer 99 SE\Library\Sch\Altera Memory.ddb

File5=E:\Program Files\Design Explorer 99 SE\Library\Sch\Altera Peripheral.ddb

……

然后保存并退出编辑。注意，TypeCount=2 这一句不能被修改！

2）选择“Tools”→“Find Component”命令，使用原理图的查找元器件功能来装载库文件。执行该命令后，系统会打开如图 2-18 所示的“Find Schematic Component（查找原

理图元器件)”对话框。在“Path”下指定库文件所在的路径，然后单击“Find Now”按钮，则在“Found Libraries”中列出所有找到的库文件，选择需要添加的库，单击“Add To Library List”按钮即可添加。

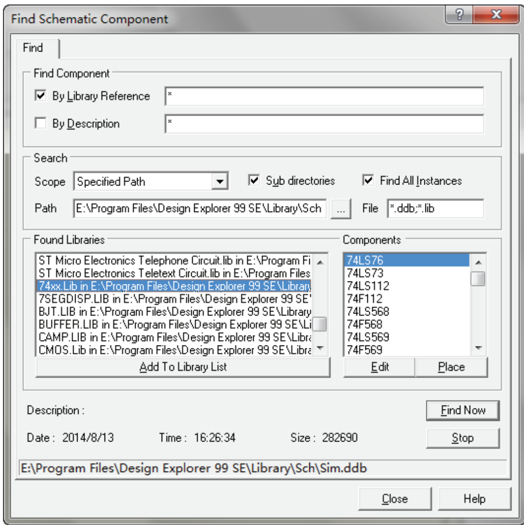


图 2-18 “Find Schematic Component”对话框

2.6 放置元器件

绘制原理图首先要进行元器件的放置。在放置元器件时，设计者必须知道元器件所在的库，加载这些必须的元器件库到当前设计管理器，即可从中取出或者制作原理图元器件。

2.6.1 使用元器件库放置元器件

放置元器件之前，应该选择需要放置的元器件，通常可以用下面两种方法来选取元器件。

1．通过输入元器件编号来选取元器件

如果确切知道元器件的编号名称，最方便的做法是通过菜单命令“Place”→“Part”或直接单击布线工具栏上的按钮，打开如图 2-19 所示的“Place Part（放置元器件）”对话框。

1）选择元器件库：单击“Browse（浏览）”按钮，系统将弹出如图 2-20 所示的“Browse Libraries（浏览元器件库）”对话框，在该对话框中，用户可以选择需要放置的元器件的库，也可以单击“Add/Remove”按钮加载元器件库（参考 2.5 节），然后可以在“Components（元器件）”列表中选择自己需要的元器件，在预览框中可以查看元器件图形。

2）输入流水号：选择了元器件后单击“Close”按钮，系统返回到“Place Part”对话框，此时可以在“Designator”文本框输入当前元器件的流水序号（例如 U1）。

注意：无论是单张或多张图纸的设计，都绝对不允许两个元器件具有相同的流水序号。

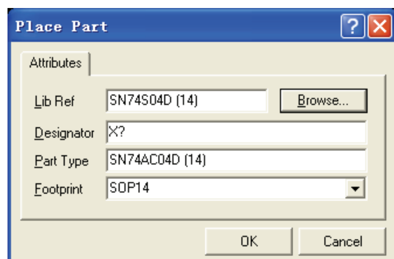


图 2-19　“Place Part”对话框

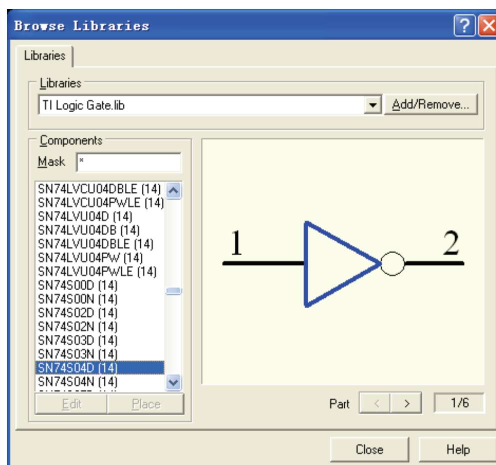


图 2-20　“Browse Libraries”对话框

在当前的绘图阶段可以完全不理会输入流水号，即直接使用系统的默认值 U?。等到完成电路全图之后，再使用 Schematic 内置的重编流水序号（通过菜单“Tools”→“Annotate”命令）功能，就可以轻易地将电路图中所有元器件的流水序号重新编号一次。

假如现在为这个元器件指定流水序号（例如 U1），则在以后放置相同形式的元器件时，其流水序号将会自动增加（例如 U2、U3、U4 等），如果选择的元器件是多片集成的话，系统自动增加的顺序则是 U1A、U1B、U1C、 U1D、U2A、U2B……设置完毕后，单击上述对话框中的“OK”按钮，设计窗口上将会出现一个可随鼠标指针移动的元器件符号，将它移到适当的位置，然后单击使其定位即可。

3）元器件类型显示：在“Part Type”文本框中显示了元器件的类型。

4）封装类型显示：在“Footprint”文本框中显示了元器件的封装类型。

完成放置一个元器件操作之后，系统会再次弹出“Place Part”对话框，等待输入新的元器件编号。如还要继续放置相同形式的元器件，则直接单击“OK”按钮，新出现的元器件符号会依照元器件包装自动地增加流水序号。如果不再放置新的元器件，可直接单击“Cancel”按钮关闭对话框。放置了一个非门 SN74AC04D 后的图形如图 2-21 所示。

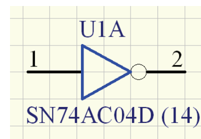


图 2-21　放置了一个非门

技巧：当放置一些标准元器件或图形时，可以在绘制前调整位置，调整的方法为：在选择了元器件，但还没有放置前，按住〈Space〉键，即可旋转元器件，此时可以选择需要的角度放置元器件。如果按〈Tab〉键，则会进入“元器件属性”对话框，用户也可以在属性对话框中进行设置，这将在本章后面讲解。

2．从元器件库列表中选取

另外一种选取元器件的方法是直接从元器件库列表中选取，该操作必须通过设计库管理器窗口的元器件库管理列表来进行。

下面以示例讲述如何从元器件库管理面板中再选取一个放大器元器件，如图 2-22 所示（已加载了 Miscellaneous Devices.ddb 元器件库）。

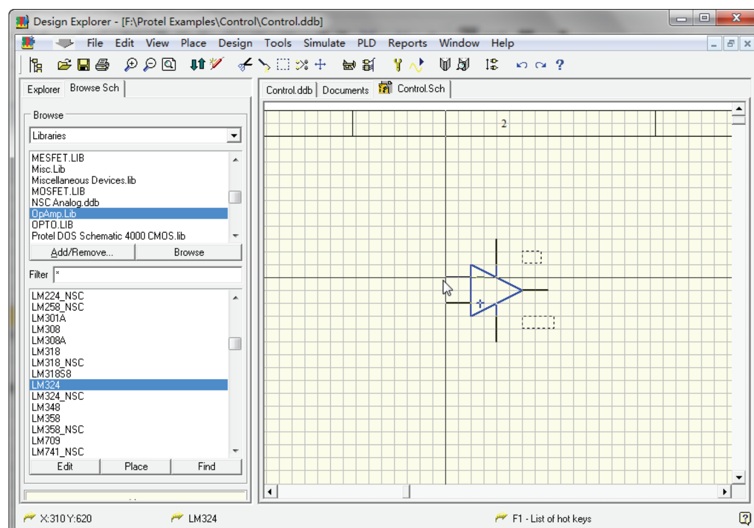


图 2-22　选取元器件

在面板上的“Libraries”的列表框中选取 OpAmp.lib 库，然后在零件列表框中选择“LM324”，然后单击“Place”按钮，此时设计窗口上会出现一个随鼠标指针移动的“LM324”图形符号，将它移动到适当的位置后单击使其定位即可。也可以直接在元器件列表中双击“LM324”将其放置到电路图中，这样可更方便些。具体放置地方可以根据设计要求来定。

放置了 3 个运算放大器的电路如图 2-23 所示，如果从设计管理器中选中该元器件，再放置到电路图中的话，则流水号为 U?，如果使用“Placce”→“Part”命令，则自动设置流水号。本实例设置的流水号为 1。如果不再继续放置元器件，则可以右击结束该命令的操作。

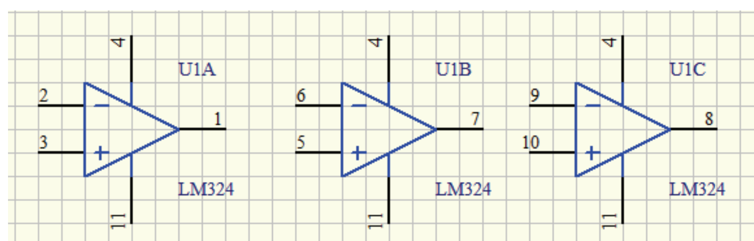


图 2-23　放置了 3 个运算放大器的电路

2.6.2　使用工具栏放置元器件

用户不仅可以使用元器件库来实现放置元器件，系统还提供了一些常用的元器件，这些元器件可以使用“Digital Objects”工具栏来选择加载。如图 2-24 所示的“Digital Objects”工具栏，该工具栏可以通过“View”→“Toolbars”→“Digital objects”命令来加载。

“Digital Objects”工具栏提供了常用规格的电阻、电容、与非门、寄存器等元器件，用户可以很方便地选择绘制这些元器件。

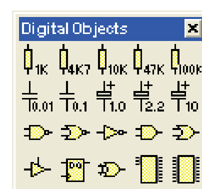


图 2-24　“Digital Objects”工具栏

放置这些元器件的操作与前面所讲的元器件放置操作类似，只要选中了某元器件后，就可以使用鼠标进行放置操作。

2.7 编辑元器件

在图纸上放置了元器件后，可以对其进行编辑，元器件布局合理后才能进行电气连接设计。

2.7.1 编辑元器件属性

Schematic 中所有的元器件对象都具有自身的特定属性。某些属性只能在元器件库编辑中进行定义，而另一些属性则只能在绘图编辑时定义。

在将元器件放置在图纸之前，元器件符号可随光标移动，此时如果按下〈Tab〉键就可以打开如图 2-25 所示的“Part（元器件属性）”对话框，可在此对话框中编辑元器件的属性。

如果已经将元器件放置在图纸上，则要更改元器件的属性，可以通过菜单“Edit”→“Change”命令来实现。该命令可将编辑状态切换到对象属性编辑模式，此时只需将鼠标指针指向该对象，然后单击即可打开“Part”对话框。另外，还可以直接在元器件的中心位置双击元器件，也可以弹出“Part（元器件属性）”对话框。然后用户就可以进行元器件属性编辑操作。

“Part”对话框有 4 个选项卡，它们是“Attributes”选项卡、“Graphical Attrs”选项卡、“Part Fields”选项卡和“Read-Only Fields”选项卡，下面分别进行说明。

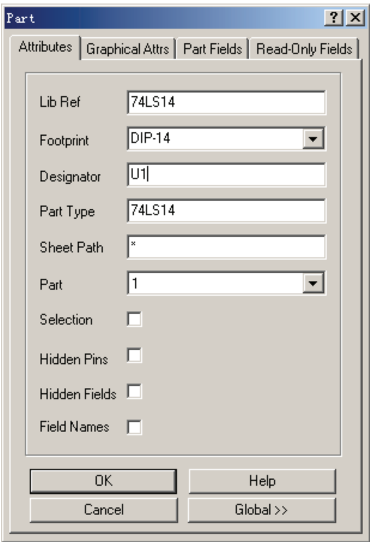


图 2-25 “Part”对话框

1）“Attributes”选项卡：设置元器件的电气属性。元器件属性选项卡如图 2-25 所示，包括如下选项。

- “Lib Ref”：用于选择元器件库，修改此项可以直接替换原有的元器件，元器件库名不会显示在元器件图上。
- “Footprint”：用于选择元器件的封装方式。对于同一种元器件，可以有不同的元器件封装方式，如 74LS14，常采用 DIP14（双排直插）的封装方式，或 SOP14（小尺寸封装）的封装方式。元器件的封装方式也不会在电路图上显示。
- “Designator”：用于设置元器件序号。
- “Part Type”：用于设置元器件在电路图上显示的元器件名称，它与元器件库名、元器件序号是不同的。
- “Sheet Path”：用于指定子电路图名，以便能够将该电路图连接到层次原理图中，这只在层次原理图设计时才使用。子电路图名不会显示在当前电路图上。
- “Part”：用于复合式封装的元器件。它的功能是指定复合式封装元器件中的元器件。复合式封装元器件有逻辑门、运算放大器等，例如 74LS14 是由几个与门组成的。指

定不同的元器件，其引脚也将随之发生变化。“Part”项选择 1 时，电路图上该元器件的序号为 U1A，其输入引脚为 1 脚，输出引脚为 2 脚；“Part”项选择 2 时，电路图上该元器件的序号为 U1B，其输入引脚为 3 脚，输出引脚为 4 脚；“Part”项选择 3 时，电路图上该元器件的序号为 U1C，其输入引脚为 5 脚，输出引脚为 6 脚；依次类推，如图 2-26 所示。此时分别双击 3 个元器件，进入其属性编辑对话框，可以看到“Part”下拉列表框中分别为 1、2、3。

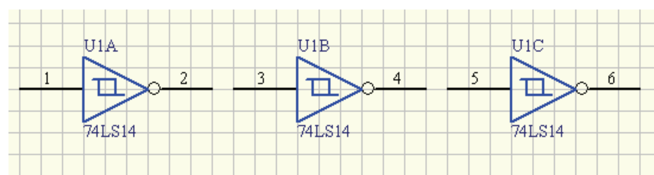


图 2-26　选择不同引脚的元器件图形示例

- “Selection”：用于选中元器件。在元器件放置后，将该元器件置于被选状态，元器件四周会出现黄框，并且元器件序号和元器件名称也变为黄色。
- “Hidden Pins”：用于设置是否显示隐藏的引脚，通常隐藏的引脚是不会显示在电路图上的。如果选中本项，隐藏的引脚将在电路图上显示出来，如图 2-27 所示。

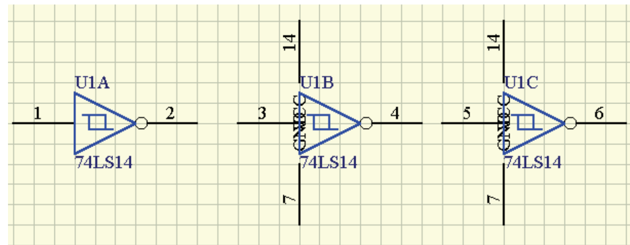


图 2-27　显示隐藏引脚

- “Hidden Fields”：用于设置是否显示元器件标注（共 16 个标注项），即是否显示“Part Fields”选项卡中的元器件数据域。如果元器件标注栏里没有文字的话，将显示“*”号。如图 2-28 所示的中间的 U1B 元器件即显示了元器件数据域。

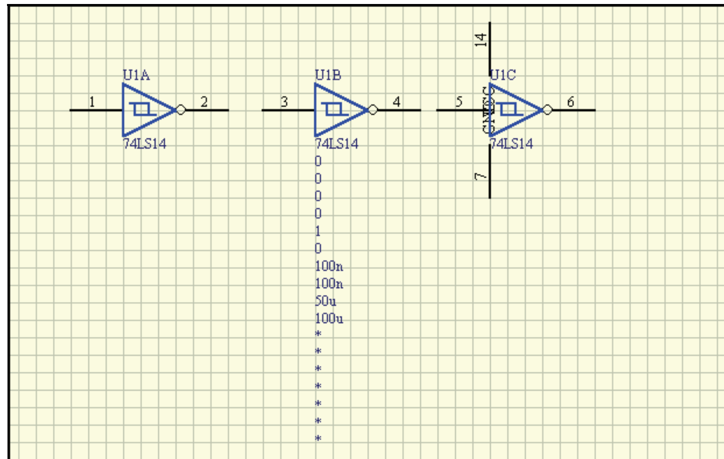


图 2-28　显示元器件数据域的元器件

● “Hidden Names”：用于设置是否显示元器件标注栏的栏名。

● “Global>>”按钮：用于显示详细的“Part（全局元器件属性）”对话框，如图 2-29 所示。用户可以在后面弹出的详细的操作框中设置匹配属性和复制属性。

在设置或修改元器件属性时，可以在“全局元器件属性对话框”中的“Change Scope（修改操作范围）”下拉列表中选择 3 种修改操作的作用范围，包括“Change Matching Items In Current Document（修改在当前文档中匹配的元器件）”“Change This Item Only（仅仅修改选中的元器件）”和“Change Matching Items In All Document（修改在所有文档中匹配的元器件）”。

2）“Graphical Attrs”选项卡：设置元器件的图形属性，如图 2-30 所示，共有 9 项设置，分别是“Orientation（元器件方向）”“Mode（元器件模式）”“X-Location”“Y-Location”“Fill Color（元器件填充颜色）”“Line Color（元器件外框颜色）”“Pin Color（元器件引脚颜色）”“Local Colors（指定颜色有效）”和“Mirrored（元器件镜像）”。

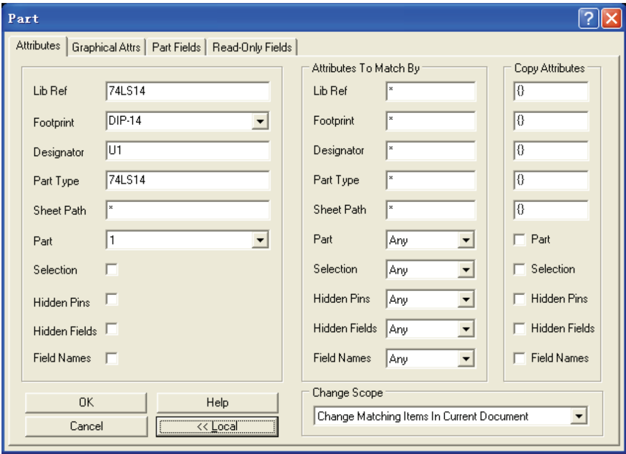


图 2-29 “Part”对话框

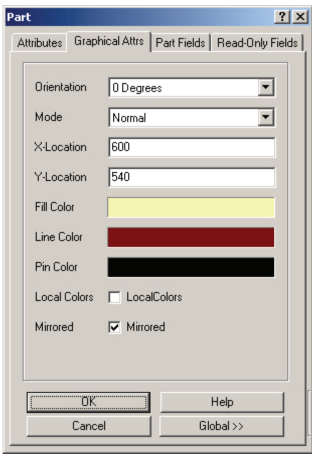


图 2-30 “Graphical Attrs”选项卡

● “Orientation”：设置网络标号放置的方向。单击选项右边的下拉按钮即可打开下拉列表，包括 4 个选项“0 Degrees”“90 Degrees”“180 Degrees”和“270 Degrees”，分别表示网络标号的放置方向为 0°、90°、180° 和 270°。但一般不用在对话框内设置网络标号的方向，而是在放置网络标号状态下，通过按〈Space〉键来设置网络标号合适的放置方向。如图 2-31 所示即为 U1A 旋转了 180°后的情况。

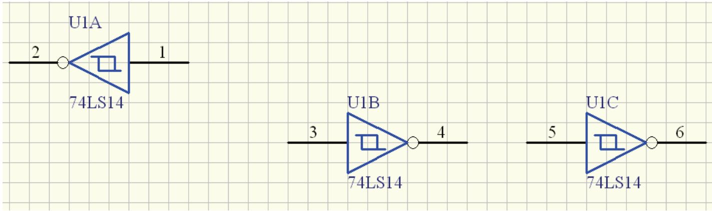


图 2-31 U1A 旋转 180° 的图形

● “X-Location”：设置网络标号所放位置的 X 坐标值。

● “Y-Location”：设置网络标号所放位置的 Y 坐标值。
● “Mode”：设定元器件的模式，单击“Mode”选项右边的下拉按钮会弹出一个下拉列表。列表中包括 3 种元器件模式选项，即“Normal（正常模式）”“DeMorgan（德摩根模式）”和“IEEE（电子与工程协会模式）”。
● “Fill Color”：设置元器件内部所要填充的颜色。
● “Line Color”：设定元器件轮廓的线条颜色。
● “Pin Color”：设定元器件引脚的颜色。

以上 3 个关于元器件颜色选项的具体设置同导线颜色的设置完全一样，设置方法见导线颜色的有关设置。

● “Local Colors”复选框：指定上面 3 项元器件颜色的设置是否应用于该元器件。
● “Mirrored”复选框：使元器件水平镜像，相当于在放置元器件时按〈X〉键，这时如图 2-26 所示中 U1B 镜像处理后的元器件图形将如图 2-32 所示。

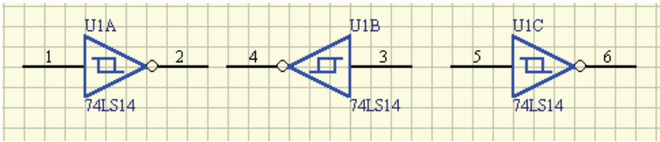


图 2-32　镜像处理 U1B 后的元器件视图

3）“Part Fields”选项卡：设置元器件的 16 项标注，如图 2-33 所示，可以直接在标注栏里输入标注文字。

4）“Read-Only Fields”选项卡：设置元器件的只读标注，如图 2-34 所示，这些标注文字不能直接在电路图中修改。

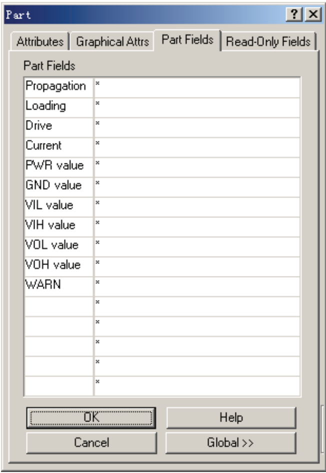


图 2-33　“Part Fields”选项卡

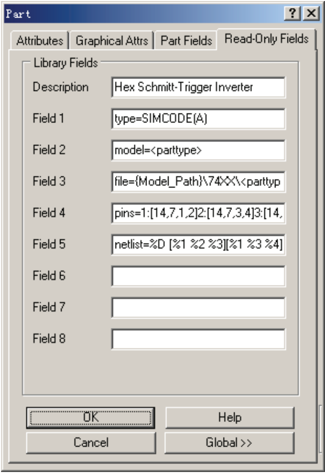


图 2-34　“Read-Only Fields”选项卡

5）编辑元器件的序号或名称。对于放置完毕的元器件，可以单独编辑其元器件序号或元器件名称。将光标移动到所要编辑的元器件序号或元器件名称中间双击，即可打开相应的编辑对话框。图 2-35 和图 2-36 分别是“Part Designator（元器件序号）”对话框和“Part

Type（元器件名称）”对话框，这两个对话框和“网络标号”对话框很类似，只是多出了“Hide”选项。“Hide”选项的功能是设定元器件序号或元器件名称是否显示在元器件图上。

另外，还可以通过拖拽的方法直接将元器件序号或元器件名称拖动到合适的位置，松开鼠标即可将元器件序号或元器件名重定位。

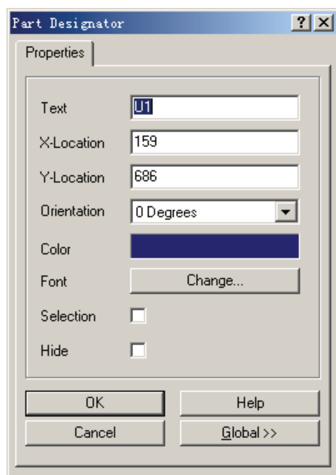


图 2-35 “Part Designator”对话框

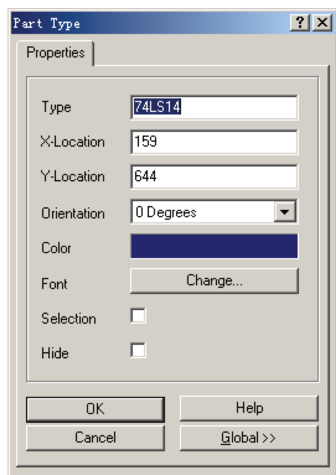


图 2-36 “Part Type”对话框

2.7.2 编辑元器件组件的属性

如果在元器件的某一属性上双击，则会打开一个针对该元器件的属性对话框。例如在图 2-32 中显示文字 U1A 上双击，由于它是元器件序号 Designator 属性，所以出现对应的“Part Designator（元器件序号）”对话框，如图 2-37 所示。

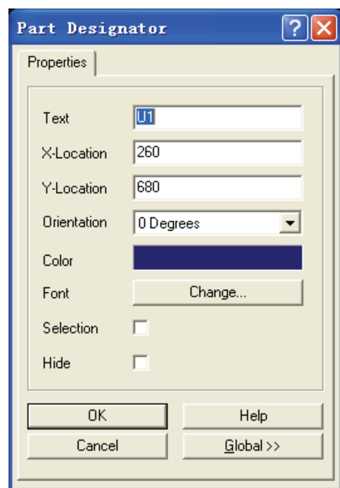


图 2-37 “Part Designator”对话框

可以通过此对话框设置其流水序号“Text（名称）”“X-Location 及 Y-Location（X 轴和

Y 轴的坐标）”“Orientation（旋转角度）”“Color（组件的颜色）”“Font（组件的字体）”“Selection（是否被选中）”“Hide（是否隐藏显示）”等更为细致的控制特性。

如果单击“Change”按钮，则系统会弹出一个“字体”对话框，可以对对象的字体进行设置，不过这只能对于选中的是文本有效。

2.8 元器件位置的调整

本节将以一个放置了电子元器件的图形为例介绍元器件位置的调整。放置了元器件的图形如图 2-38 所示。

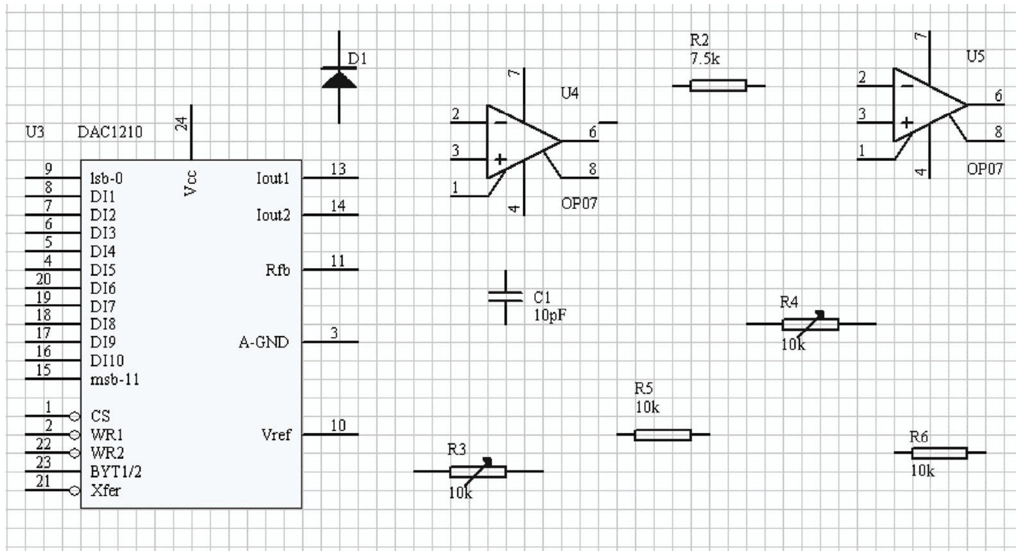


图 2-38　放置一些元器件的图形

元器件位置的调整实际上就是利用各种命令将元器件移动到工作平面上所需要的位置，并将元器件旋转为所需要的方向。一般在放置元器件时，每个元器件的位置只是估计的，在进行电路原理图布线前还需要对元器件的位置进行调整。

2.8.1 对象的选取

对象的选取有很多方法，下面介绍最常用的几种方法。

1．直接选取对象

元器件最简单、最常用的选取方法是直接在图纸上拖出一个矩形框，框内的元器件全部被选中。

具体方法是：在图纸的合适位置按住鼠标左键，光标变成十字状，如图 2-39 所示。拖动至合适位置，松开鼠标，即可将矩形区域内所有的元器件选中，如图 2-40 所示的被选中元器件可以看到有一个黄色矩形框标志，表明该元器件被选中。要注意的是在拖动的过程中，不可将鼠标松开；在拖动过程中，光标一直为十字状。另外，按住〈Shift〉键并单击，也可实现选取元器件的功能。

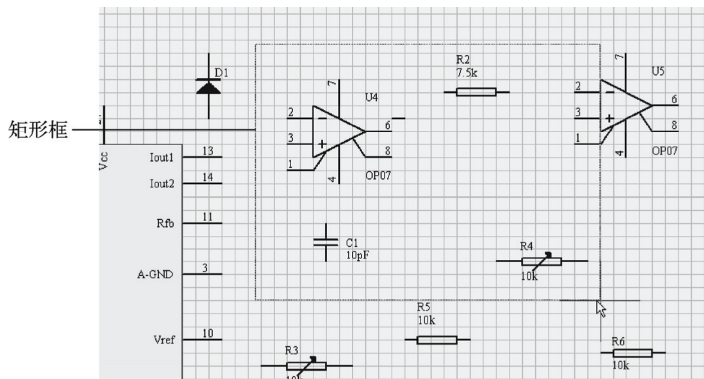


图 2-39　按住鼠标左键拉出一个矩形框

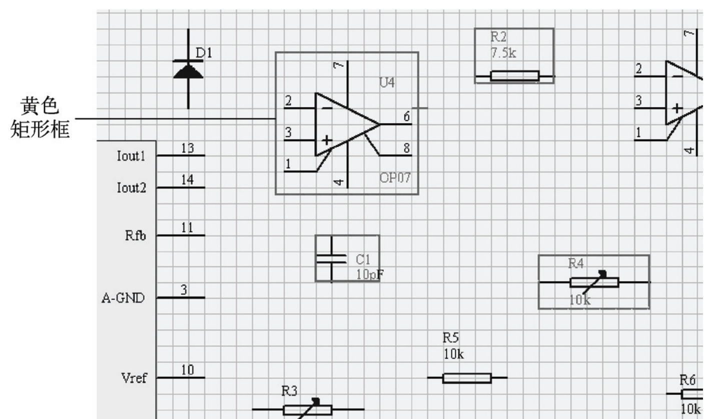


图 2-40　选取元器件后的效果

2．主工具栏里的选取工具

在主工具栏里有 3 个选取工具，即“区域选取”“取消选取”和“移动元器件”，如图 2-41 所示。

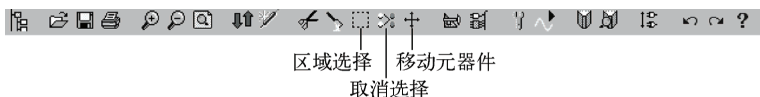


图 2-41　工具栏里的选取工具

区域选取工具：选中区域里的零件。它与前面介绍的方法基本相同，唯一的区别是：单击此按钮后，光标从开始起就一直是十字状，在形成选择区域的过程中，不需要一直按住鼠标。

取消选取工具：取消图纸上所有被选元器件的选取状态。单击此按钮后，设计窗口上所有带黄框的被选对象全部取消被选状态，黄色框消失。

移动元器件工具：移动图纸上被选择的元器件。单击此按钮后，光标变成十字状，单击任何一个带黄框的被选对象，移动光标，设计窗口上所有带黄框的元器件（被选元器件）都随光标一起移动。

3．菜单中的有关选取命令

在“Edit”菜单中有几个关于选取的命令，如图 2-42 所示。

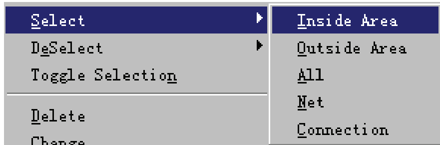


图 2-42　菜单中的选取命令

1）Inside Area（区域内选取）：用于选取区域内的元器件。

2）Outside Area（区域外选取）：用于选取区域外的元器件。

3）All（选取所有元器件）：用于选取图纸内所有元器件。

4）Net（选取网络）：用于选取指定网络。使用这一命令，只要属于同一个网络标号的导线，不管在电路图上是否有连接线，属于同一网络的元器件，都会被选中。执行该命令后，光标变成十字状，在某一导线上单击，不仅将该导线和与该导线连接的所有导线选中，而且将和该导线具有相同网络标号的导线也一并选中。

5）Connection（选取连线）：用于选取指定连接导线。使用这一命令，只要相互连接的导线，都被选中。执行该命令后，光标变成十字状，在某一导线上单击，将该导线以及与该导线有连接关系的所有导线选中。

6）Toggle Selection（切换式选取）：执行该命令后，光标变成十字状，在某一元器件上单击，如果该元器件以前被选中，则元器件的选中状态被取消；如果该元器件以前没有被选中，则该元器件被选中。

2.8.2　元器件的移动

Protel 99 SE 中，元器件的移动大致可以分成两种情况。一种情况是元器件在平面里移动，简称“平移”；另外一种情况是当一个元器件将另外一个元器件遮盖住的时候，也需要移动元器件来调整元器件间的上下关系，将这种元器件间的上下移动称为“层移”。元器件移动的命令在菜单“Edit”→“Move”中，如图 2-43 所示。

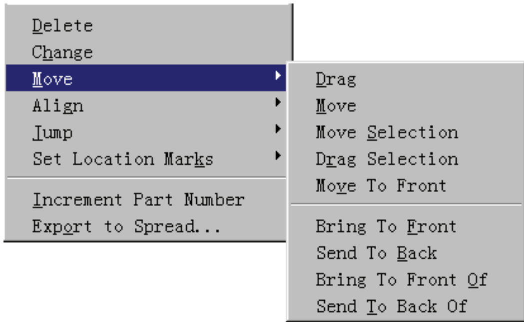


图 2-43　菜单中的“Move”命令

移动元器件最简单的方法是：将光标移动到元器件中央，按住鼠标，元器件周围出现虚框，拖动元器件到合适的位置，即可实现该元器件的移动。

菜单“Edit”→“Move”中各个移动命令的功能如下所述。

1）Drag：是一个很有用的命令，特别是当连接完线路后，用此命令移动元器件，元器件上的所有连线也会跟着移动，不会断线。执行该命令前，不需要选取元器件。执行该命令后，光标变成十字状。在需要拖动的元器件上单击，元器件就会跟着光标一起移动，将元器件移到合适的位置。再单击即可完成此元器件的重新定位。在具体操作时，将光标移到要拖动的元器件上，先按住〈Ctrl〉键，再按住鼠标，接着再松开〈Ctrl〉键，然后拖动鼠标，也可以实现“Drag”的功能。

2）Move：用于移动元器件。但它只移动元器件，与元器件相连接的导线不会跟着它一起移动，操作方法同“Drag”命令。

3）Move Selection 和 Drag Selection：与 Move 和 Drag 命令相似，只是它们移动的是选定的元器件。另外，这两个命令适用于多个元器件一起同时移动的情况。

4）Move To Front：在最上层移动元器件，这个命令是“平移”和“层移”的混合命令。它的功能是移动元器件，并且将它放在重叠零件的最上层，操作方法同 Drag 命令。

5）Bring To Front：将元器件移动到重叠元器件的最上层。执行该命令后，光标变成十字状，单击需要层移的元器件，该元器件立即被移到重叠元器件的最上层。右击结束系统层移状态。

6）Send To Back：将元器件移动到重叠元器件的最下层。执行该命令后，光标变成十字状，单击要层移的元器件，该元器件立即被移到重叠元器件的最下层。右击结束该命令。

7）Bring To Front Of：将元器件移动到某元器件的上层。执行该命令后，光标变成十字状。单击要层移的元器件，该元器件暂时消失，光标还是十字状，然后单击，原先暂时消失的元器件重新出现，并且被置于参考元器件的上面。

8）Send to Back Of：将元器件移动到某元器件的下层，操作方法同 Bring To Front Of 命令。

2.8.3 单个元器件的移动

假设移动如图 2-38 所示的电容 C1 和电阻 R4，具体操作过程如下。

1）首先选中目标。在所需要选中的对象（电容 C1）处单击，选中状态如图 2-44 所示，然后按住鼠标左键，在所选中的对象上出现十字光标，并在元器件周围出现虚框，表示已选中目标物，并可以移动该对象，移动状态如图 2-45 所示。

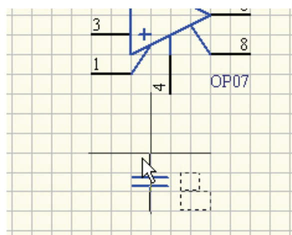


图 2-44 移动元器件时的选中状态

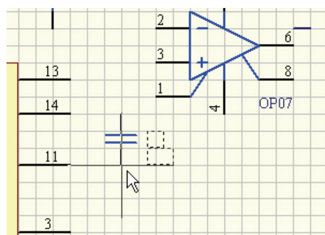


图 2-45 元器件的移动状态

2）移动目标。拖动鼠标移动十字光标，将其拖拽到需要的位置，松开鼠标左键即完成移动任务。

3）再执行上述操作，移动电阻 R4，移动后的图形如图 2-46 所示。

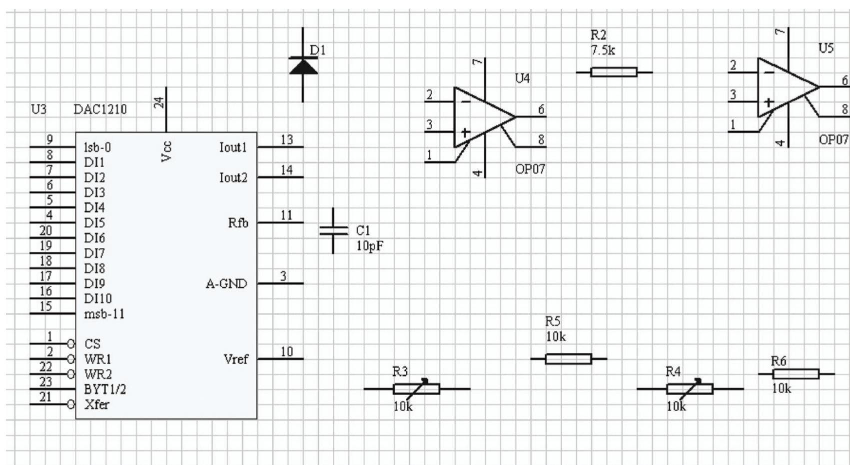


图 2-46　移动电容和电阻后的电路元器件布置图

同样，选择“Edit”→“Move”→“Move”命令，按上述步骤也可完成此功能。不同的是执行菜单命令完成任务后，仍处于此命令状态，可以继续移动其他元器件。

从图 2-38 和图 2-46 所示，可以看出电阻 R4 移动了一定的距离。同理，移动其他图件如线条、文字标注等的方法与此类似。

2.8.4　多个元器件的移动

除了单个元器件的移动外，还可以同时移动多个元器件。要移动多个元器件首先要选中多个元器件。Protel 99 SE 提供了多种选择的方法。

1．选择多个元器件

1）逐次选择多个元器件：选择“Edit”→“Toggle Selection”命令，出现十字光标，移动光标到目标元器件，单击即可选中。用同样的方法可选中其他的目标元器件，如图 2-47 所示为选中了的多个元器件。选择多个元器件可以使用前面介绍的方法来实现。

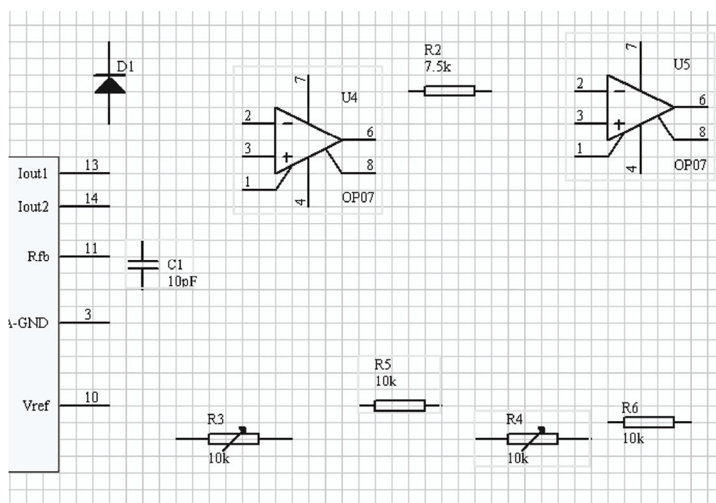


图 2-47　选中多个元器件视图

逐个选择多个元器件也可以按住〈Shift〉键，然后使用鼠标逐个选中所需要选择的元器件。

2）同时选择多个元器件：选中目标元器件。确定了所选元器件后，先将鼠标光标移动到目标元器件组的左上角，按住鼠标左键，然后将光标拖拽到目标区域的右下角，将要移动的元器件组全部围起来，松开左键，如元器件黄色框所包围，则表明被选中。另外，使用主工具栏里的按钮也可完成任务。

2．移动选中的多个元器件

移动被选中的多个元器件。单击被选中的元器件组中的任意一个元器件不放，待十字光标出现即可移动被选择的元器件组到适当的位置，然后松开鼠标左键，便可完成任务。

另外，可以选择“Edit”→“Move”→“Move Selection”命令来实现元器件的移动操作。

2.8.5 元器件的旋转

元器件的旋转实际上就是改变元器件的放置方向。Protel 99 SE 提供了很方便的旋转操作，操作方法如下。

1）首先在元器件所在位置单击，选中单个元器件，并按住鼠标左键。

2）然后按〈Space〉键，就可以让元器件以 90°旋转，这样就可以实现元器件图形的旋转。

用户还可以使用快捷菜单命令“Properties”来实现。即先选中需要旋转的元器件后，右击并从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，然后系统弹出“元器件属性”对话框，此时选择“Graphical Atrrs”选项卡（如图 2-30 所示）。

此时用户可以修改 X、Y 位置坐标，移动元器件位置。设定一定旋转角度，以旋转当前编辑的元器件，如设定图 2-46 中的电阻 R6 旋转 90°，其他电阻元器件的旋转角不变，得到元器件图如图 2-48 所示。

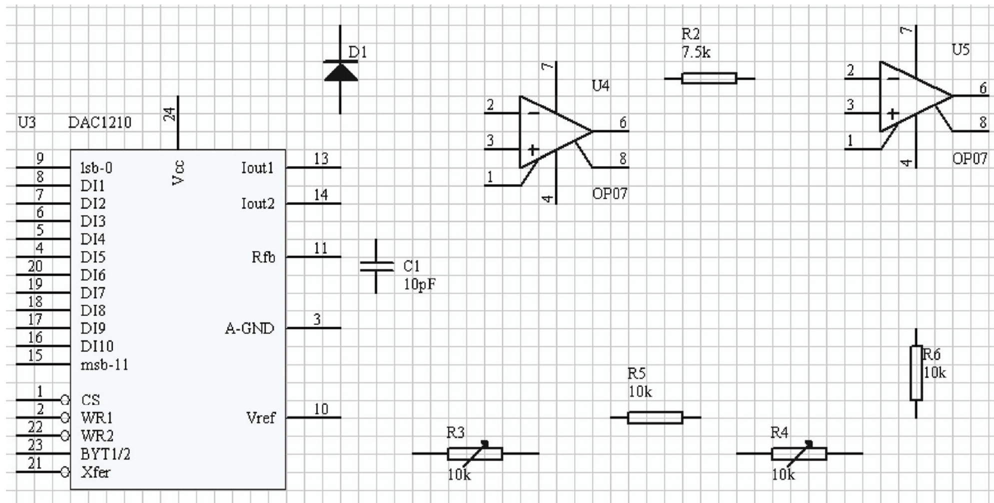


图 2-48　旋转 R6 后的图形

2.8.6 取消元器件的选择

取消元器件的选择可以通过“Edit”→“DeSelect”命令来实现。该菜单如图 2-49 所示，其中包括“Inside Area”“Outside Area”和“All”3 个选项。



图 2-49 “DeSelect”子菜单

1）选择“Edit”→“DeSelect”→“Inside Area”命令，先将鼠标光标移动到目标区的左上角单击，然后将光标移到目标区域的右下角再单击，确定了一个选框，就会将选框中所包含的元器件的选中状态取消。

2）选择“Edit”→“DeSelect”→“Outside Area”命令，操作同上，结果是保留选择框中的状态，而将选择框外所包含的元器件的选中状态取消。

3）选择“Edit”→“DeSelect”→“All”命令，可取消工作平面上所有元器件的选中状态。

2.8.7 复制粘贴元器件

Protel 99 SE 同样有“剪贴”操作，包括对元器件的复制、剪切和粘贴。

1）复制：选择“Edit”→“Copy”命令，将选择的元器件作为副本，放入剪贴板中。

2）剪切：选择“Edit”→“Cut”命令，将选择的元器件直接移入剪贴板中，同时电路图上的被选元器件被删除。

3）粘贴：选择“Edit”→“Paste”命令，将剪贴板里的内容作为副本，复制到电路图中。

这些命令也可以在主工具栏中选择执行。另外系统还提供了功能热键来实现粘贴复制。

- Copy 命令：〈Ctrl+Insert〉键。
- Cut 命令：〈Shift+Delete〉键。
- Paste 命令：〈Shift+Insert〉键。

注意：复制一个或一组元器件时，选择了需要复制的元器件后，系统还要求选择一个复制基点，该基点很重要，用户应该很好地选择该基点，这样可以方便后面的粘贴操作。当粘贴元器件时，在将元器件放置到目标位置前，如按〈Tab〉键，则会进入目标位置设置对话框，用户也可以在该对话框中精确设置目标点。

2.8.8 阵列式粘贴元器件

阵列式粘贴是一种特殊的粘贴方式，可以一次按指定间距将同一个元器件重复地粘贴到图纸上。启动阵列式粘贴可以选择“Edit”→“Paste Array”命令，如图 2-50 所示。也可以单击“Drawing Tools”工具栏里的“阵列式粘贴”按钮，如图 2-51 所示。

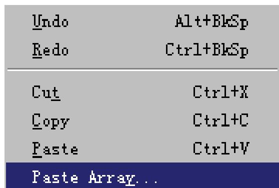


图 2-50 “Edit”→“Paste Array”命令



图 2-51 “阵列式粘贴”按钮

启动阵列式粘贴命令后，弹出如图 2-52 所示的“Setup Paste Array（阵列式粘贴）”对话框。

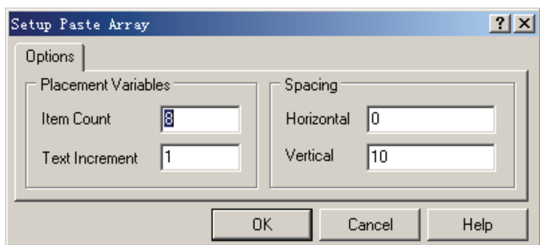


图 2-52 “Setup Paste Array”对话框

对话框中的各选项功能如下。

1）“Item Count”文本框，用于设置所要粘贴的元器件个数。

2）“Text Increment”文本框，用于设置所要粘贴元器件序号的增量值。如果将该值设定为 1，且元器件序号为 R1，则重复放置的元器件中，序号分别为 R2、R3、R4。

3）“Horizontal”文本框，用于设置所要粘帖的元器件间的水平间距。

4）“Vertical”文本框，用于设置所要粘帖的元器件间的垂直间距。

2.8.9 元器件的删除

当图形中的某个元器件不需要或错误时，可以对其进行删除。删除元器件可以使用“Eidt”菜单中的两个删除命令，即“Clear”和“Delete”命令。

1）“Clear”命令的功能是删除已选取的元器件。执行“Clear”命令之前需要选取元器件，执行“Clear”命令之后，已选取的元器件立刻被删除。

2）“Delete”命令的功能也是删除元器件，只是执行“Delete”命令之前不需要选取元器件，执行“Delete”命令之后，光标变成十字状，将光标移到所要删除的元器件上单击，即可删除元器件。

另外一种删除元器件的方法是：选中元器件后，元器件周围会出现虚框，直接按〈Delete〉键即可实现删除。

2.8.10 元器件的排列

Protel 99 SE 提供了一系列排列和对齐命令，它们可以极大地提高用户的工作效率。下面以如图 2-53 所示的几个元器件来说明如何进行这些命令的操作。

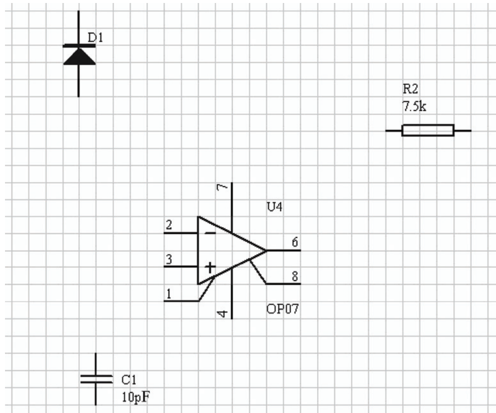


图 2-53　排列前的元器件

1．元器件左对齐

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）此时光标变为十字形状，移动光标到所要排列对齐的元器件的某个角后单击，然后拉开虚框以包容这 4 个元器件，再单击可选中虚框包含的元器件。

3）选择“Edit”→“Align”→“Align Left”命令，出现如图 2-54 所示的菜单命令。该命令使所选取的元器件左边对齐。

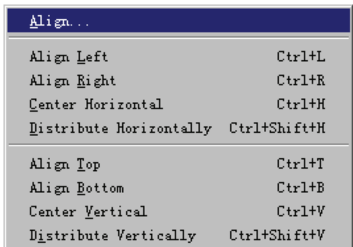


图 2-54 “Align”子菜单

4）选中 D1、U4、C1、R2 元器件，执行“Align Left”命令后，这 4 个元器件的排列结果如图 2-55 所示。可以看到，随机分布的 4 个元器件的最左边处于同一条直线上。

注意：如果所选取的元器件是水平放置的，执行此命令会造成元器件重叠。

2．元器件右对齐

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）此时光标变为十字形状，移动光标到所要排列对齐的元器件的某个角后单击，然后拉开虚框以包容这 4 个元器件，再单击可选中虚框包含的元器件。

3）选择“Edit”→“Align”→“Align Right”命令，该命令使所选取的元器件右对齐。

4）选择“Align Right”命令后，4 个元器件的排列结果如图 2-56 所示。可以看到，4 个元器件的最右边处于同一条直线上。

3．元器件按水平中心线对齐

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）此时光标变为十字形状，移动光标到所要排列对齐的元器件的某个角后单击，然后拉开虚框以包容这 4 个元器件，再单击可选中虚框包含的元器件。

3）选择“Edit”→“Align”→“Center Horizontal”命令。该命令使所选取的元器件按水平中心线对齐。

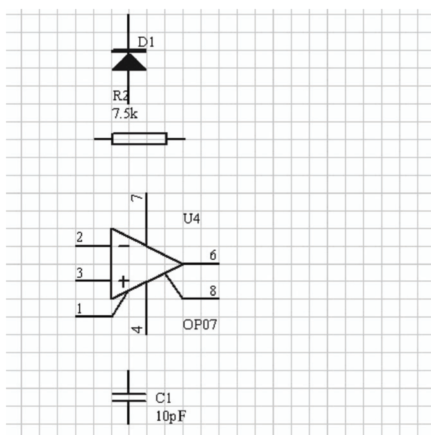


图 2-55　左对齐的元器件

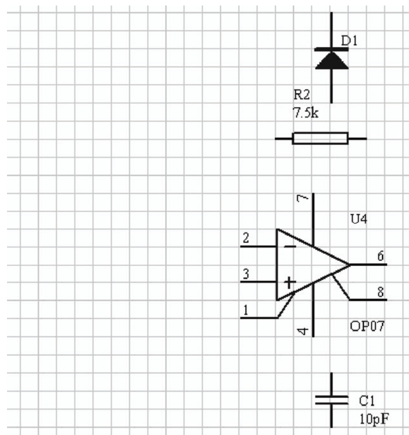


图 2-56　右对齐的元器件

4）选择“Center Horizontal”命令后，4 个元器件的对齐结果如图 2-57 所示，可以看到，对齐后 4 个元器件的中心处于同一条直线上。

4．元器件水平平铺

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）此时光标变为十字形状，移动光标到所要排列对齐的元器件的某个角后单击，然后拉开虚框以包容这 4 个元器件，再单击可选中虚框包含的元器件。

3）选择“Edit”→“Align”→“Distribute Horizontally”命令，使所选择的元器件水平平铺。

4）选择“Distribute Horizontally”命令后，4 个元器件的对齐结果如图 2-58 所示。可以看到，4 个元器件沿水平方向平铺，即水平方向间距相等。

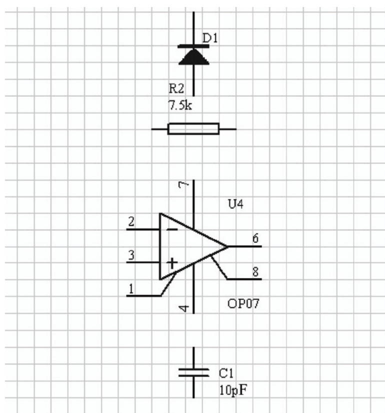


图 2-57　按水平中心对齐后的元器件

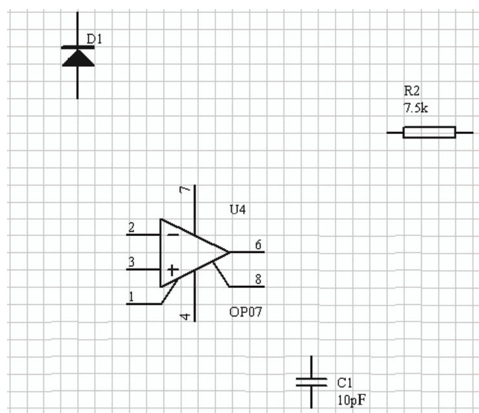


图 2-58　水平平铺的元器件

5．元器件顶端对齐

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）选择“Edit”→“Align”→“Align Top”命令，该命令使所选取的元器件顶端对齐。

6．元器件底端对齐

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）选择“Edit”→“Align”→“Align Bottom”命令。该命令使所选取的元器件底端对齐。

7．元器件按垂直中心线对齐

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）此时光标变为十字形状，移动光标到所要排列对齐的元器件的某个角后单击，然后拉开虚框以包容这 4 个元器件，再单击可选中虚框包含的元器件。

3）选择“Edit”→“Align”→“Center Vertical”命令。该命令使所选取的元器件按水平中心线对齐。

8．元器件垂直均布

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）选择“Edit”→“Align”→“Distribute Vertically”命令。该命令使所选取的元器件垂直均布。

9．同时进行综合排列或对齐

上面介绍的几种方法，一次只能做一种操作，如果要同时进行两种不同的排列或对齐操作，可以打开“Align objects”对话框来进行。

1）选择“Edit”→“Select”→“Inside Area”命令，选取元器件。

2）选择“Edit”→“Align”→“Align”命令。

3）执行该命令后，将弹出“Align objects（元器件对齐设置）”对话框，如图 2-59 所示。该对话框可以用来进行综合排列或对齐的设置。

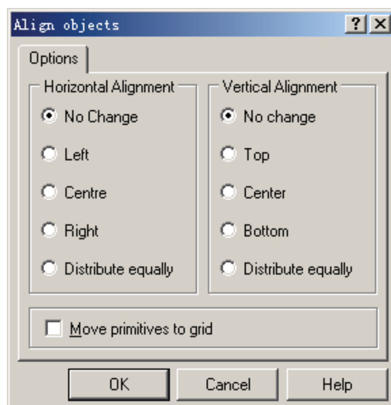


图 2-59 “Align objects”对话框

该对话框分为两部分，分别为“Horizontal Alignment（水平排列）”和“Vertical Alignment（垂直排列）”。

①“Horizontal Alignment”选项如下。

- No Change：不改变位置。
- Left：全部靠左边对齐。
- Centre：全部靠中间对齐。
- Right：全部靠右边对齐。
- Distribute equally：平均分布。

②“Vertical Alignment”选项如下。

- No Change：不改变位置。
- Top：全部靠顶端对齐。
- Center：全部靠中间对齐。
- Bottom：全部靠底端对齐。
- Distribute equally：平均分布。

2.9　放置电源与接地元器件

电源和接地元器件可以使用“Power Objects”工具栏上对应的命令来放置，如图 2-60 所示，该工具栏可以选择“View”→“Toolbars”→“Power Objects”命令来打开或关闭。

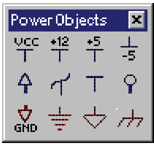


图 2-60　“Power Objects”工具栏

从该工具栏中可以分别输入常见的电源节点元器件，在图样上放置了这些元器件后，用户还可以对其进行编辑。

在前面放置了元器件的图样上，现在继续放置电源元器件，分别在 U4 和 U5 的 7 脚上放置+VCC 电源，在 U4 和 U5 的 4 脚上放置-VCC 电源，没有放置电源和接地的图形如图 2-61 所示。

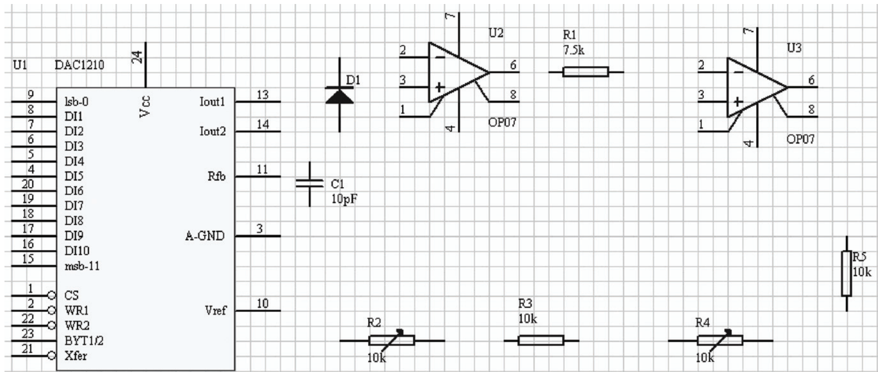


图 2-61　放置电源元器件前的图形

VCC 电源与 GND 接地有别于一般电气元器件。它们必须通过菜单命令“Place”→“Power Port”“Power Objects”工具栏或原理图布线工具栏上的按钮来调用，这时编辑窗口中会有一个随鼠标指针移动的电源符号，按〈Tab〉键，将会出现如图 2-62 所示的“Power Port”对话框。或者在放置了电源元器件的图形上，双击电源元器件或使用快捷菜单的“Properties”命令，也可以弹出“Power Part”对话框。

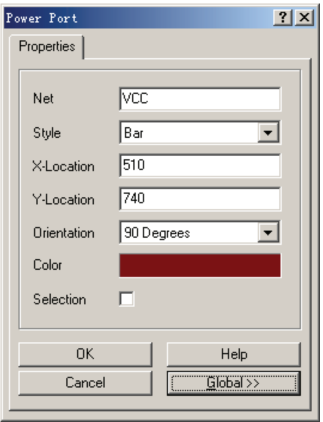


图 2-62　“Power Port”对话框

在对话框中可以编辑电源属性，在“Net”栏中修改电源符号的网络标号，在“Style”栏中修改电源类型。当前符号的“Orientation（放置角度）”为 0 Degrees（就是 0°），这和一般绘制电路图的习惯不太一样，因此在实际应用中常把电源对象旋转 90°放置，而接地对象通常旋转 270°放置。电源与接地符号在“Style”下拉列表框中有多种类型可供选择，如图 2-63 所示。

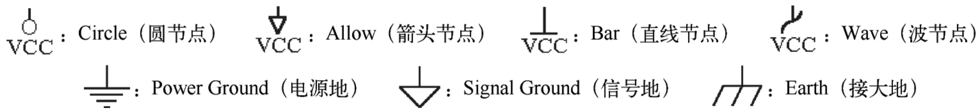


图 2-63　电源的类型

现在可以使用上面介绍的方式放置电源和接地，并分别修改电源元器件的颜色、类型和数值，颜色设定为传统的棕红色。电源网络标号设置为 VCC，方位均为 90°；-VCC 的方位为 270°。图形类型仍然选择 Bar 结构，放置了电源元器件后如图 2-64 所示。

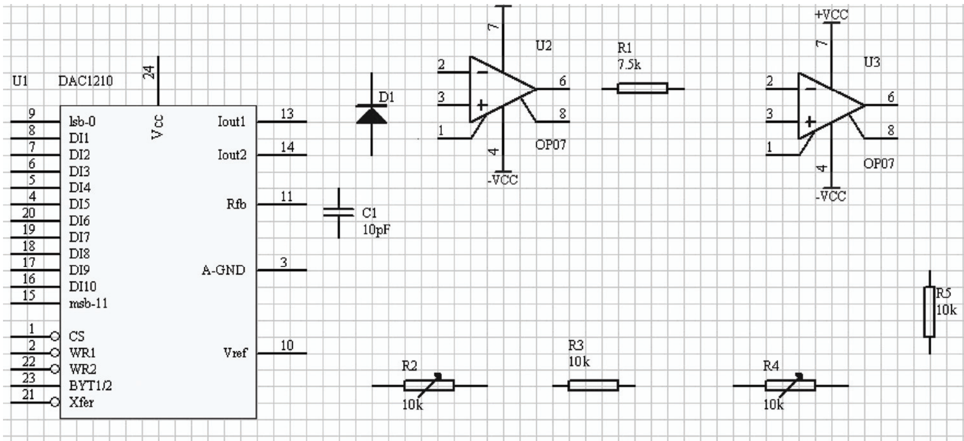


图 2-64　放置电源元器件后的图形

2.10　更新元器件流水号

绘制完电路图后，有时候需要将电路图中的元器件进行重新编号，即设置元器件流水号，这可以选择“Tools”→“Annotate”命令来实现，如图 2-65 所示。执行此命令后，会出现如图 2-66 所示的“Annotate（标注设置）”对话框，在该对话框中，可以设置重新编号的方式。下面简单介绍“Annotate”对话框各操作选项。

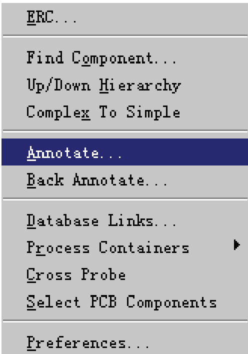


图 2-65　执行“Tools”→“Annotate”命令

1）Annotate Options：该选项组的各操作项主要用来设定流水号重新设置的作用范围。

下拉列表中有 4 个选项：“?Parts”选项的意义是只对有“?”号的元器件重新设置流水号；“All Parts”选项的意义是对所有元器件进行编号；“Reset Designators”选项的意义是对所有元器件复位原始状态；“Update Sheets Number Only”选项的意义是仅更新原理图的图号。

2）Current sheet only：该复选框的意义是更新元器件流水号仅仅对当前原理图有效。

3）Ignore selected parts：该复选框的意义是重新对元器件进行编号时，忽略所选中的元器件。

4）Group Parts Together If Match By：该选项组中的各复选按钮主要是用来匹配成组的元器件（也称为复合封装的元器件），如果选中的域匹配了，则认为匹配的元器件是一个组，将按组元器件的方式设置（如 U1A，U1B…）。

5）Re-annotate Method：该选项组中的各单选按钮用来设定重新编好的方式，选中某个方式后，会在其右边显示这种设置方式。

设定个选项后，单击“OK”按钮，即可自动实现原理图中元器件的重新编号。如果想进一步设置编号的方式，可以进入“Advanced Options”选项卡，如图 2-67 所示。

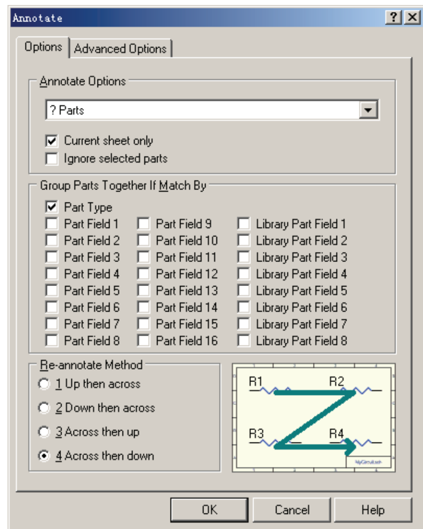


图 2-66 “Annotate”对话框

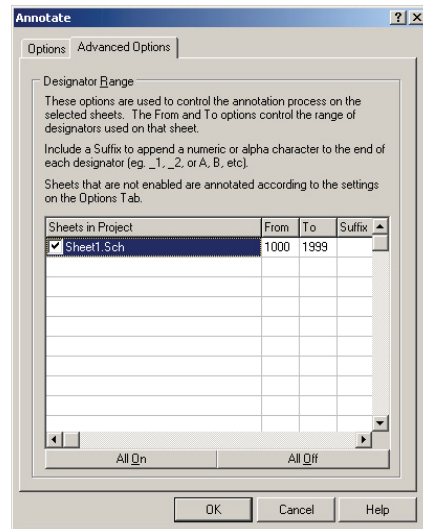


图 2-67 “Advanced Options”选项卡

此时，可以设置流水编号的范围，“From”文本框中填入起始编号，“To”文本框中填入结束的编号，“Suffix”文本框中填入编号的后缀。

如果是一个层次原理图项目，则会在该选项卡中显示项目中的所有文件，此时可以单击“All On”按钮全部选中所有需要重新编号的文件，“All Off”为不选择任何采用这种方式的文件。

设定了起始编号和结束编号后，执行了重新编号后，元器件的流水号将限制在这个范围。

注意：如果重新编号后，感觉不满意，可以恢复原来的编号，此时只要执行“Tools”→“Back Annotate”命令即可。

2.11 放置电路方块图

电路方块图（Sheet Symbol）是层次式电路设计不可缺少的组件，层次式电路设计将在以后的章节里详细介绍。

简单地说，电路方块图就是通过组合其他元器件，用户自己定义的一个复杂器件。这个复杂器件在图纸上用简单的方块图来表示，至于这个复杂器件由哪些元器件组成、内部的接线又如何，可以由另外一张电路图来详细描述。这和元器件图是非常相似的，在前面介绍设置“元器件属性”对话框时，如图 2-25 所示，介绍过“Attributes”标签页里的“Sheet Path”选项。它的功能是指定该零件内部电路图所在的文件，只是对于标准化零件，普通用

户很少去关心其内部电路图罢了。

因此，零件、自定义零件、电路方块图没有本质上的区别，大致可以将它们等同看待。下面介绍放置电路方块图的方法。

1．执行放置电路方块图命令

放置电路方块图的方法有两种。

（1）单击画电路图工具栏里的“电路方块图”按钮。

（2）选择“Place”→“Sheet Symbol”命令。

2．放置电路方块图

执行放置电路方块图命令后，光标变成十字状，在电路方块图一角单击，再将光标移到方块图的另一角，即可展开一个区域再单击，完成该方块图的放置。右击即可退出放置电路方块图状态。绘制的电路方块图如图 2-68 所示。

3．编辑电路方块图属性

在放置电路方块图状态下，按〈Tab〉键，即可打开如图 2-69 所示的“Sheet Symbol（电路方块图属性）”对话框，或者放置了电路方块图后，可以双击元器件，或者选中元器件再右击，从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令。

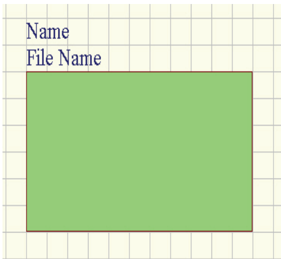


图 2-68　绘制电路方块图

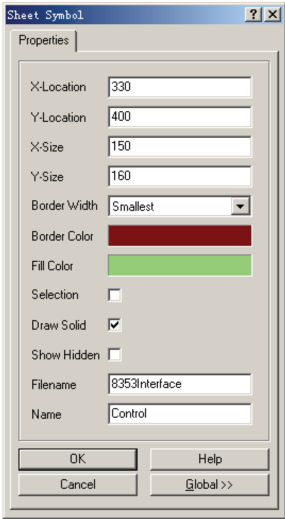


图 2-69　“Sheet Symbol”对话框

对话框中共有 12 个设置项，其中 X-Location、Y-Location、Fill Color 和 Selection 设置项与设置“网络标号属性”对话框的相应选项操作一样。下面将介绍剩余的 8 个选项。

1）“Border Width”选择项的功能是选择电路方块图边框的宽度。单击“Border Width”选择项右侧的下拉按钮，在下拉列表框中共有 4 种边线的宽度，即 Smallest（最细）、Small（细）、Medium（中）和 Large（粗）。

2）“X-Size”：用于设置电路方块图的宽度。

3）“Y-Size”：用于设置电路方块图的高度。

4）“Border Color”：用于设置电路方块图的边框颜色。

5）“Draw Solid”：用于设置电路方块图内是否要填入“Fill Color”所设置的颜色。

6）“Show Hidden”复选框选中后，可以显示一些关于方块图的辅助信息。

7）“Filename”：设置电路方块图所对应的文件名称，与“元器件编辑”对话框内的“Sheet”设置项类似。

8）“Name”：设置电路方块图的名称。

下面对如图 2-68 所示的电路方块图进行修改设置，“Fill Color”不变；“Name”修改为“D/A Circuit”；“Filename”修改为“Board1”。修改后的电路方块图如图 2-70 所示。

另外“Name”和“Filename”属性还可以直接对其进行属性操作，可以单独选取它们，然后在其属性对话框中修改。

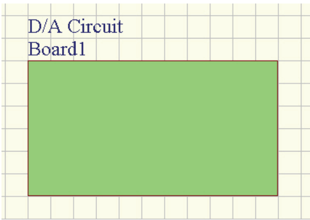


图 2-70　修改方块图属性后的图形

2.12　原理图的电气连接

Protel 99 SE 提供了 3 种方法来进行原理图的绘制以及电气连接。

1．利用原理图布线工具栏（Wiring Tools）

该方法直接单击原理图布线工具栏中的各个按钮，以选择适当的工具。“Wiring Tools”工具栏如图 2-71 所示。

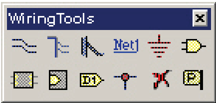


图 2-71　“Wiring Tools”工具栏

“Wiring Tools”工具栏中各个按钮的功能如表 2-1 所示。

表 2-1　“Wiring Tools”工具栏的按钮及其功能

按　钮	功　能	按　钮	功　能
	绘制导线		放置电路方块图
	绘制总线		放置电路方块图进出点
	绘制总线出入端口		放置输入/输出端口
	设置网络标号		放置节点
	绘制电源或接地端口		放置 ERC 测试点
	放置元器件		放置 PCB 布线指示

2．利用菜单命令

选择“Place”菜单下的各命令，这些命令与上面绘制原理图工具栏上的各个按钮相互对应。只要选择相应的菜单命令就可以绘制原理图了。

3．利用快捷键

对于菜单中带有下画线字母的命令。可按住〈Alt+P〉键，再按对应每个命令的下画线字母就可执行该命令，这些按键也被称为功能键。

2.12.1　画导线

导线是原理图中重要的图元之一，用于实现元器件间的电气连接。绘制原理图工具中的导线具有电气连接意义，它不同于画图工具中的画线工具，后者没有电气连接意义。

1．执行画导线（Wire）命令

执行画导线命令最常用的方法有如下两种。

1）单击绘制原理图工具栏内的“导线”按钮≈。

2）选择“Place”→“Wire”命令。

2．画导线步骤

执行画导线命令后，光标变成十字状，表示系统处于画导线状态。

画导线的步骤如下。

1）将光标移到所画导线的起点单击，再将光标移动到下一点或导线终点再单击，即可绘制出第一条导线。以该点为新的起点，继续移动光标，绘制第二条导线。

2）如果要绘制不连续的导线，可以在完成前一条导线后，右击或按〈Esc〉键，然后将光标移动到新导线的起点单击，再按前面的步骤绘制另一条导线。

3）画完所有导线后，连续右击两次，即可结束画导线状态，光标由十字形状变成箭头形状。

在绘制电路图的过程中，按〈Space〉键可以切换画导线模式。Protel 99 SE 中提供 3 种画导线方式，分别是直角连线、45°连线、任意角度连线。绘制的导线如图 2-72 所示。

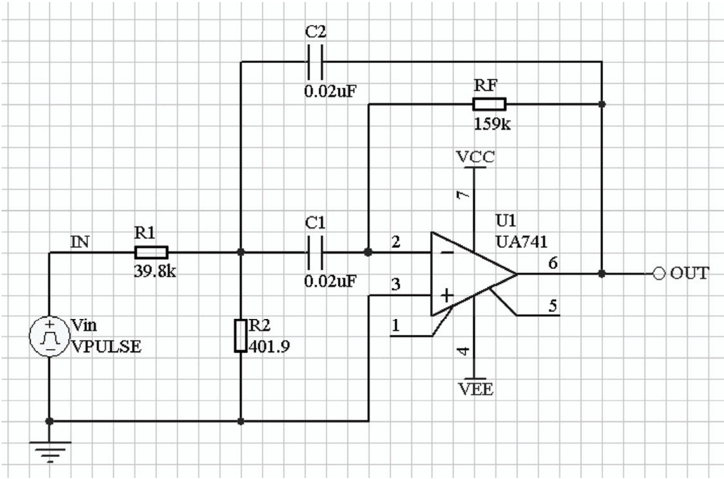


图 2-72　画导线

3．导线属性对话框的设置

在画导线状态下，按〈Tab〉键，即可打开“Wire（导线属性）”对话框，进行导线设置，如图 2-73 所示。其中有几项设置，分别介绍如下。

1）“Wire Width”：设置导线的宽度，单击右边的下拉按钮即可打开如图 2-74 所示的下拉列表框，列表中有 4 个选项，即 Smallest、Small、Medium 和 Large。

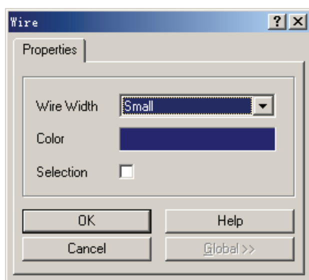


图 2-73 “Wire”对话框

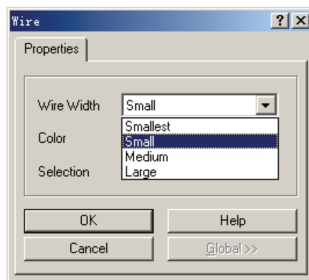


图 2-74 设置导线宽度

2）“Color”：设置导线的颜色。单击“Color”项右边的色块后，弹出如图 2-75 所示的“Choose Color（设置颜色）”对话框。提供 238 种预设颜色，选择所要的颜色，单击“OK”按钮，即可完成导线颜色的设置。也可以单击此对话框中的“Define Custom Colors”按钮，选择自定义颜色。

3）“Selection”复选框：设定画完导线后，该导线是否处于被选中状态。如果选中此复选框，那么画完导线后，该导线处于被选中状态，导线颜色为黄色。

4）“Global”项，选中一条导线，双击也可打开“Wire”对话框。值得注意的是：在画导线状态下，按〈Tab〉键，在打开的“Wire”对话框中的“Global”按钮是灰色的，表示此按钮此时无效。

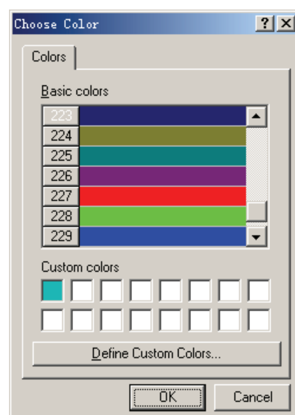


图 2-75 “Choose Color”对话框

“Global”：进行全局修改，即在电路图中，如果有同类的元器件也一起更改。基本上，双击任何一个图元都有这一项全局修改功能。以导线的“Global”项为例，单击“Global”按钮，弹出如图 2-76 所示的对话框。在该对话框中，单击“Local”按钮，对话框又会回到图 2-73 所示的对话框。

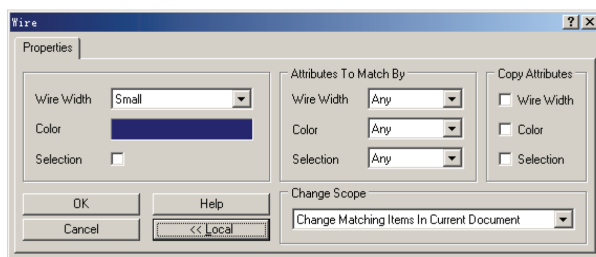


图 2-76 “Global”项打开后的对话框

将图 2-76 与图 2-73 相比，多出了 3 个设置区域，即 Attributes Match By、Copy Attributes 和 Change Scope。

- Attributes Match By：设定符合全局修改的条件，包括以导线粗细（Wire 项）为筛选条件、以导线颜色（Color 项）为筛选条件和以导线是否为选择状态（Selection 项）为筛选条件。它们的右边各有一个下拉按钮，其中的选项是完全一样的，包括 Any（不管什么条件都符合全局修改条件）、Same（只有完全一样才符合全局修改条件）、

Different（不一样的选项才符合全局修改的条件）。

- Copy Attributes：设定所要全局修改的对象，包括“Wire”项（将符合条件的导线改为本对话框所设定的导线粗细）、“Color”项（将符合条件的导线改为本对话框所设定的导线颜色）和“Selection”项（将符合条件的导线改为本对话框所设定的选取状态）。
- Change Scope：设定全局修改的范围，其中包括以下 3 项。

Change This Item Only：设定全局修改的范围为本元器件。

Change Matching Items In Current Document：设定全局修改的范围为目前正在编辑的元器件图。

Change Matching Items In All Document：设定全局修改的范围为目前所有已打开的元器件图。

2.12.2 设置网络标号

网络标号具有实际的电气连接意义，具有相同网络标号的导线不管图上是否连接在一起，都被视为同一条导线。

通常在以下场合使用网络标号。

1）简化电路图。在连接线路比较远或线路过于复杂而使连线困难时，可利用网络标号代替实际连线。

2）连接时表示各导线间的连接关系。通过总线连接的各个导线必须标上相应的网络标号，才能达到电气连接的目的。

3）层次式电路或多重式电路。在这些电路中表示各个模块电路之间的连接。

1．执行放置 Net Label（网络标号）命令

执行放置网络标号主要有两种方法。

1）单击画电路图工具栏中的“Net Label”按钮Net1。

2）选择“Place”→“Net Label”命令。

2．放置网络标号的步骤

放置网络标号的步骤如下。

1）执行放置网络标号命令后，将光标移到放置网络标号的导线或总线上，光标上产生一个小圆点，表示光标已捕捉到该导线，单击即可正确放置一个网络标号。

2）将光标移到其他需要放置网络标号的地方，继续放置网络标号。右击可结束放置网络标号状态。

在放置过程中，如果网络标号的头和尾是数字，则这些数字会自动增加。如现在放置的网络标号为 D0，则下一个网络标号自动变为 Dl；同样，如果现在放置的网络标号为 1A，则下一个网络标号自动变为 2A，如图 2-77 所示，即为顺序放置网络标号的电路图部分。

3．“Net Label”对话框

在放置网络标号的状态下，如果要编辑所要放置的网络标号，按〈Tab〉键即可打开“Net Label（网络标号属性）”对话框，如图 2-78 所示。其中“Color”项和“Selection”项与“导线属性”对话框内有关设置相同，这里不再叙述。其余各个设置项功能说明如下。

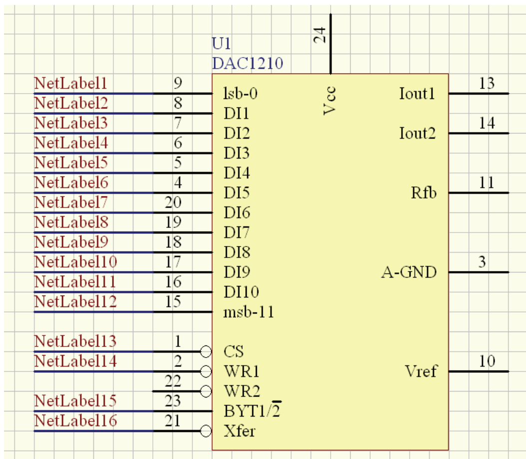


图 2-77　放置网络标号的图形

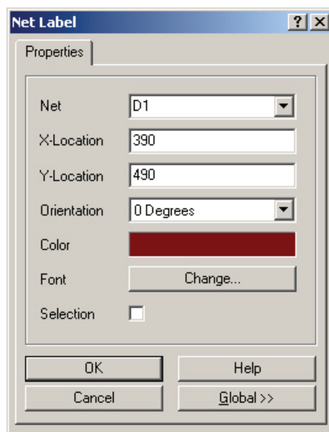


图 2-78　“Net Label”对话框

1）“Net”：设置网络标号。

2）“X-Location”：设置网络标号所放位置的 X 坐标值。

3）“Y-Location”：设置网络标号所放位置的 Y 坐标值。

4）“Orientation”：设置网络标号放置的方向。单击选项右边的下拉按钮即可打开下拉列表。其中包括 4 个选项“0 Degrees”“90 Degrees”“180 Degrees”和“270 Degrees”，分别表示网络标号的放置方向为 0°、90°、180°和 270°。但一般不在对话框内设置网络标号的方向，而是在放置网络标号状态下，通过按〈Space〉键来设置网络标号合适的放置方向。

5）“Font”：设置所要放置文字的字体，单击“Change”按钮，会出现设置“字体”对话框。

6）“Global”：选中一个网络标号，双击也可打开“Net Label”对话框，单击“Global”按钮即可进入全局修改或设置，如图 2-79 所示。其中的设置基本与导线的全局设置类似，这里仅介绍几项特殊的设置。

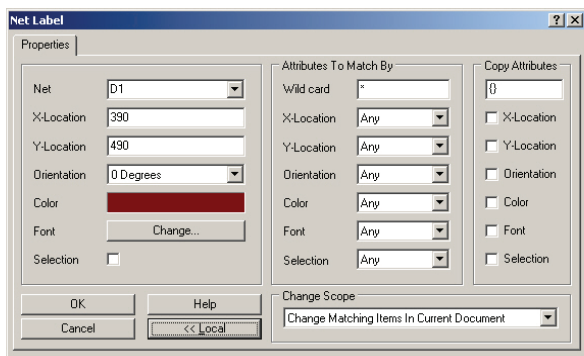


图 2-79　“Net Label”对话框

在“Attributes To Match By”选项组中的“Wild card”文本框中，输入“*”表示不管电路图中其他的网络标号是什么，都符合全局修改条件。也可以指定某个特定网络标号，表示整个电路图中所有同名的网络标号都符合全局修改条件。

“Copy Attributes”区域中，“{}”用以指定如何修改。例如，要将已放置在电路图中的Net1、Net2、Net3…网络标号更改为 D1、D2、D3…，那么在“Wild”设置项中填入“Net*”，在“Copy Attributes”区域中填入“{Net=D}”，最后单击“OK”按钮，即可完成网络标号的全局修改。

如图 2-77 所示，已经放置了网络标号。现在可以对各网络名进行属性编辑，可以逐个修改各个网络名，也可以使用上面讲的全局修改方式来实现。可以在“Wild card”文本框中输入“NetLabel*”，而在“Copy Attributes”文本框中输入“{NetLabel=D}”，然后单击“OK”按钮，即实现所有“NetLabel*”的前面的字符的修改。然后对 D9、D10、D11 和 D12 进行相应修改，修改后的网络标号如图 2-80 所示。

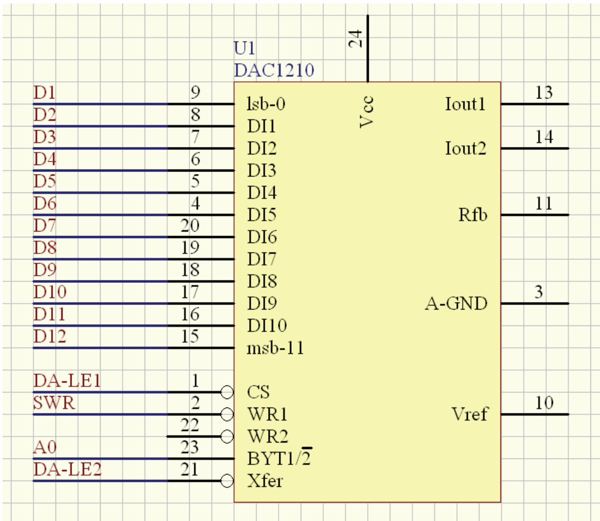


图 2-80　修改网络标号后的图形

2.12.3　放置输入/输出端口

在设计电路图时，一个网络与另外一个网络的连接，可以通过实际导线连接，也可以通过放置网络标号使两个网络具有相互连接的电气意义。放置输入/输出点，同样实现两个网络的连接，相同名称的输入/输出端口，可以认为在电气意义上是连接的。输入/输出端口也是层次图设计中常用的电气连接组件。

1．执行输入/输出端口命令（Port）

执行输入/输出端口（Port）命令有两种方式。

（1）单击画电路工具栏里的“Port”按钮 。

（2）选择“Place”→“Port”命令。

2．放置输入/输出端口步骤

执行“Port”命令后，光标变成十字状，并且在它上面出现一个输入/输出端口的图标，如图 2-81 所示。在合适的位置，光标上会出现一个圆点，表示此处有电气连节点。单击即可定位输入/输出端口的一端，移动鼠标使输入/输出端口的大小合适再单击，即可完成一个输入/输出端口的放置。右击即可结束放置输入/输出端口状态。

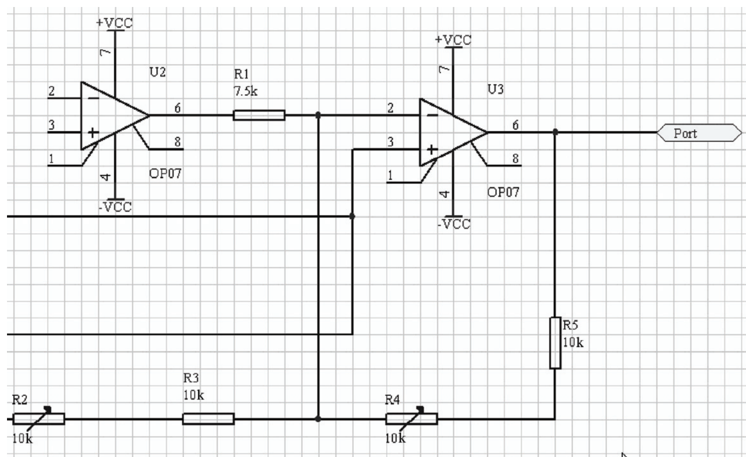


图 2-81　绘制输入/输出端口

3．设置输入/输出端口

在放置输入/输出端口状态下，按〈Tab〉键，弹出如图 2-82 所示的“Port（端口属性）”对话框。对话框中共有 11 个设置项，下面介绍几个主要选项的内容。

1）Name：定义 I/O 端口的名称。具有相同名称的 I/O 端口的线路在电气上是连接在一起的。图中的名称默认值为 Port。

2）Style：端口外形的设定。I/O 端口的外形种类一共有 8 种，如图 2-83 所示。本实例中设定为 Left＆Right。

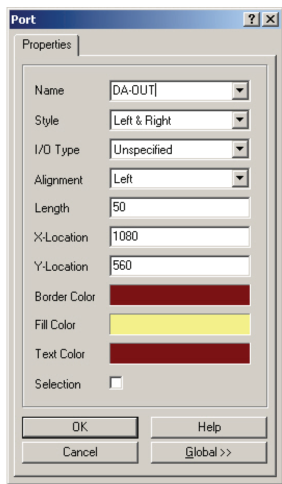


图 2-82　“Port”对话框

None (Horizontal)
Left
Right
Left & Right
None (Vertical)
Top
Bottom
Top & Bottom

图 2-83　端口外形种类

3）I/O Type：设置端口的电气特性。设置端口的电气特性也就是对端口的 I/O 类型设置，它会对电气法则检测（ERC）提供一些依据。例如，当两个同属 Input 输入类型的端口连接在一起的时候，电气法则检测时，会产生错误报告。端口的类型设置有以下 4 种。

- Unspecified：未指明或不确定。
- Output：输出端口型。

● Input：输入端口型。

● Bidirectional：双向型。

4）Alignment：设置端口的形式。端口的形式与端口的类型是不同的概念，端口的形式仅用来确定 I/O 端口的名称在端口符号中的位置，而不具有电气特性。端口的形式共有 3 种：Center、Left 和 Right。

其他项目的设置包括 I/O 端口的宽度、位置、边线的颜色、填充颜色、及文字标注的颜色等。这些用户可以根据自己的要求来设置。

下面对图 2-81 所示的端口进行修改设置，Name（名称）修改为 DA-OUT；Style（端口的外形）为 Left＆Right；I/O Type（I/O 类型）修改为 Output（输出型端口）；Alignment（名称布置）为 Center（中心）；Length（长度）为 50；其他不变。修改后的端口如图 2-84 所示。

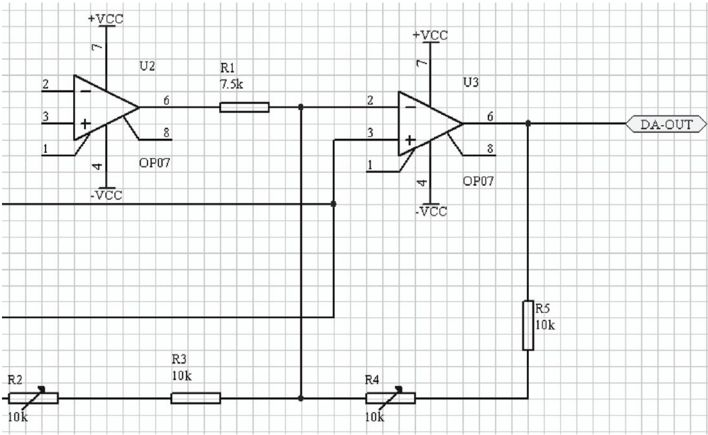


图 2-84　修改输入/输出端口属性后的电路图

2.12.4　放置节点

在某些情况下 Schematic 会自动在连线上加上 Junction（节点）。但是，通常许多节点需要手动添加，譬如默认情况下十字交叉的连线是不会自动加上节点的，如图 2-85 所示。节点是具有电气意义的连接。

若要自行放置节点，可单击原理图布线工具栏上的按钮或执行菜单“Place”→“Junction”命令，将编辑状态切换到放置节点模式，此时鼠标指针会由空心箭头变为大十字，并且中间还有一个小黑点。这时，只需将鼠标指针指向欲放置节点的位置上，然后单击即可。要将编辑状态切换回待命模式，可右击或按下〈Esc〉键。

在节点尚未放置到图纸中之前按下〈Tab〉键或是直接在节点上双击，可打开如图 2-86 所示的“Junction”对话框。“Junction”对话框包括以下选项。

1）X-Location、Y-Location：节点中心点的 X 轴、Y 轴坐标。

2）Size：选择节点的显示尺寸，用户可以分别选择节点的尺寸为 Large（大）、Medium（中）、Small（小）和 Smallest（最小）。

3）Color：选择节点的显示颜色。

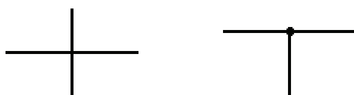


图 2-85　连接类型

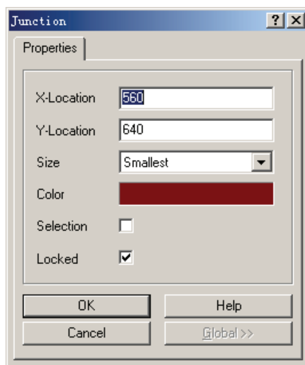


图 2-86　“Junction”对话框

4）Selection 复选框：切换选取状态。

5）Locked 复选框：设置是否锁定显示位置。当没有选中该复选框时，如果原先的连线被移动以至于无法形成有效的节点时，本节点将自动消失；当选中该复选框时，无论如何移动连线，节点都将维持在原先的位置上。

2.12.5　电气连接线路

当所有电路对象与电源元器件放置完毕后，现在可以着手进行电路图中各对象间的连线（Wiring）。连线的最主要目的是按照电路设计的要求建立网络的实际连通性。

要进行电气连线操作时，可单击原理图布线工具栏上的按钮或选择菜单“Place”→“Wire”命令，将编辑状态切换到连线模式，此时鼠标指针的形状也会由空心箭头变为大十字。这时只需将鼠标指针指向预拉线的一端再单击，就会出现一个可以随鼠标指针移动的预拉线，当鼠标指针移动到连线的转弯点时，每单击一次可以定位一次转弯。当拖动虚线到元器件的引脚上并单击，或在任何时候双击，就会终止该次连线。若想将编辑状态切回到待命模式，可右击或按下〈Esc〉键。

当预拉线的指针移动到一个可建立电气连接的点时（通常是元器件的引脚或先前已拉好的连线），十字指针的中心将出现一个黑点，如图 2-87 所示，提示在当前状态下单击就会形成一个有效的电气连接。

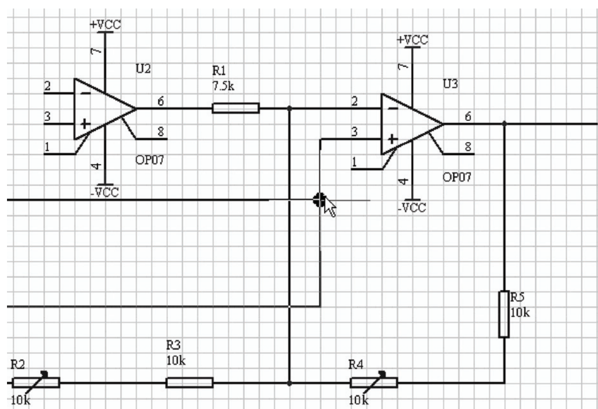


图 2-87　连接线路

2.12.6 画总线

总线（Bus）是指一组具有相关性的信号线。在 Schematic 中，总线纯粹是为了迎合人们绘制电路图的习惯，其目的仅是为了简化连线的表现方式。总线本身并没有实际的电气意义。也就是说，尽管在绘制总线时会出现热点，而且在拖动操作时总线也会维持其原先的连接状态，但这并不表明总线具有电气性质的连接。总线与总线出入端口的示意如图 2-88 所示。

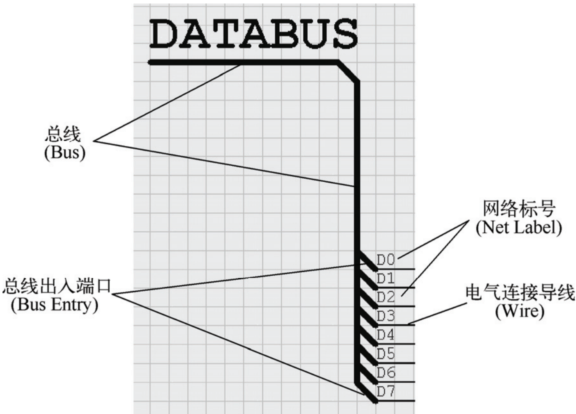


图 2-88　总线与总线出入端口示意

习惯上，连线应该使用总线出入端口（Bus Entry）符号来表示与总线的连接。但是，总线出入端口同样也不具备实际的电气意义。所以当选择“Edit”→“Select”→“Net”命令来选择网络时，总线与总线出入端口并不呈现高亮显示。

在总线中，真正代表实际的电气意义的是通过网络标号与输入/输出端口来表示的逻辑连通性。通常，网络标号名称应该包括全部总线中网络的名称，例如 A（0，1，2…10）就代表名称为 A0、A1、A2 直到 A10 的网络。假如总线连接到输入/输出端口时，这个总线必须在输入/输出引脚上终止才行。

绘制总线可单击电路绘制工具栏上的按钮或选择“Place”→“Bus”命令来实现，总线的属性设置与导线的相同，可以参考 2.12.1 节。

总线绘制实例：下面就在如图 2-89 所示的没有绘制数据总线的电路图的基础上绘制数据总线。

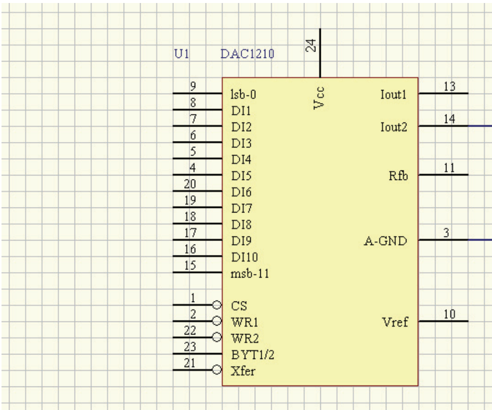


图 2-89　没有绘制总线的图形

选择“Place”→“Bus”命令或从“Wiring Tools”工具栏上单击按钮，绘制数据总线，绘制的位置可以根据要求确定，如果位置不合适，还可以手动调整。绘制数据总线后的图形如图 2-90 所示。

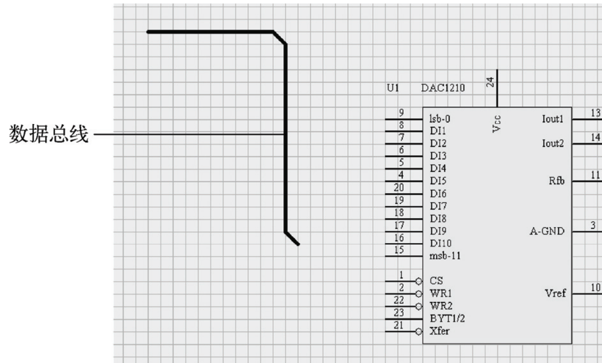


图 2-90　绘制数据总线后的图形

2.12.7　画总线出入端口

总线出入端口（Bus Entry）是单一导线进出总线的端点，如图 2-88 所示。总线出入端口没有任何的电气连接意义，只是让电路看上去更具有专业水准。因此有无总线出入端口，与电气连接没有任何关系。

1．执行画总线出入端口命令

执行画总线出入端口命令的方法有如下两种。

（1）单击画电路图工具栏上的按钮。

（2）选择“Place”→“Bus Entry”命令。

2．画总线出入端口步骤

执行画总线出入端口命令，光标变成十字状，并且上面有一段 45°或 135°的线，表示系统处于画总线出入端口状态，如图 2-91 所示。

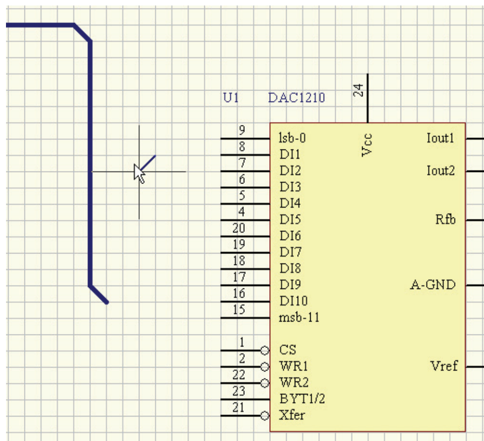


图 2-91　放置总线出入端口

画总线出入端口的步骤如下。

1）将光标移到所要放置总线出入端口的位置，光标上出现一个圆点，表示移到了合适的放置位置，单击可完成一个总线出入端口的放置。

2）画完所有总线出入端口后右击，即可结束画总线出入端口状态，光标由十字形状变成箭头形状。

在绘制电路图的过程中按〈Space〉键，总线出入端口的方向将逆时针旋转 90°；按〈X〉键总线出入端口左右翻转；按〈Y〉键总线出入端口上下翻转。

3．“Bus Entry”对话框的设置

在放置总线出入端口状态下，按〈Tab〉键，即可打开“Bus Entry（总线出入端口属性）”对话框，如图 2-92 所示。其中 3 项设置与“Wire”对话框中的有关设置相同，即“Line Width”相当于“Wire”对话框中的“Wire Width”项；“Color”和“Selection”选项与“Wire”对话框中的“Color”和“Selection”选项完全一样。

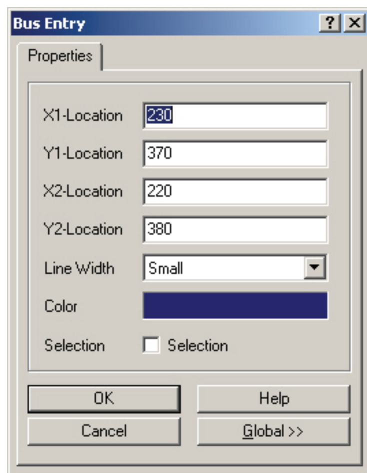


图 2-92 “Bus Entry”对话框

其他 4 项说明如下。

1）“X1-Location”：设置总线出入端口中第一个点的 X 轴坐标值。

2）“Y1-Location”：设置总线出入端口中第一个点的 Y 轴坐标值。

3）“X2-Location”：设置总线出入端口中第二个点的 X 轴坐标值。

4）“Y2-Location”：设置总线出入端口中第二个点的 Y 轴坐标值。

双击已绘制完毕的总线出入端口，也可以进入“Bus Entry”对话框，其中的“Global”项是可用的，单击“Global”按钮，即可进入“Bus Entry”对话框的全局设置。其中的设置与导线的修改设置很类似。

现在以实例讲述如何添加总线出入端口。图 2-90 绘制了总线，选择“Place”→“Bus Entry”命令或从“Wiring Tools”工具栏上单击按钮。然后在总线处绘制总线出入端口线，如图 2-93 所示。

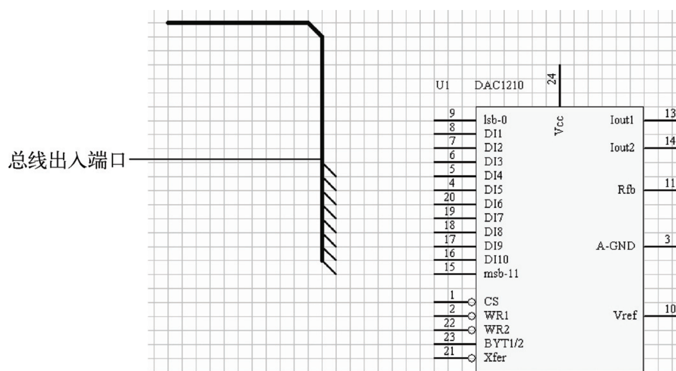


图 2-93 绘制了总线出入端口后的图形

技巧：当放置一些标准元器件或图形时，可以在绘制前调整位置。调整的方法为：在选择了元器件，但还没有放置前，按〈Space〉键，即可旋转元器件，此时可以选择需要的角度放置元器件。如果按〈Tab〉键，则会进入元器件属性对话框，用户也可以在属性对话框中进行设置。

2.13 设置原理图的环境参数

一张原理图绘制的效率和正确性，常常与环境参数设置有重要的关系，本节特将此部分内容安排在讲述了图形绘制基础知识后讲解，以便读者能有效掌握。

设置原理图的环境参数可以选择“Tools”→“Preferences”命令来实现。执行该命令后，系统将弹出如图 2-94 所示的“Preferences（参数设置）”对话框。通过该对话框可以分别设置原理图环境、图形编辑环境以及默认原始状态设置等，分别可以通过“Schematic”选项卡、“Graphical Editing”选项卡和“Default Primitives”选项卡实现。下面分别对这 3 个选项卡的操作进行讲解。

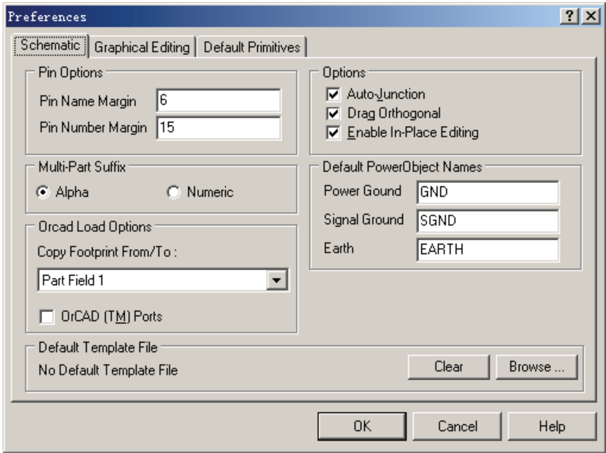


图 2-94 “Preference”对话框

2.13.1 设置原理图环境

原理图环境设置通过“Schematic”选项卡来实现，如图 2-94 所示，该选项卡可以设置的参数如下。

1）Pin Options：设置引脚选项，通过该选项组可以设置元器件的引脚号和名称距离边界（元器件的主图形）的间距。

- Pin Name Margin：在该文本框输入的值可以设置引脚名离边界的距离。
- Pin Number Margin：在该文本框输入的值可以设置引脚号离边界的距离。

2）Multi-Part Suffix：设置多元器件流水号的后缀，有些元器件内部是由多个元器件组成的，比如 74LS04 就是由 6 个非门组成，通过该文本框就可以设置元器件的后缀。

- Alpha：选中该单选按钮，则后缀以字母表示，如 A、B 等，如图 2-95 所示为元器件

的后缀显示。

- Numeric：选中该单选按钮，则后缀以数字表示，如 1、2 等，如图 2-96 所示为元器件的后缀显示。

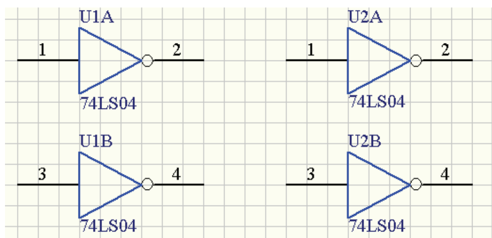


图 2-95　以字母显示后缀

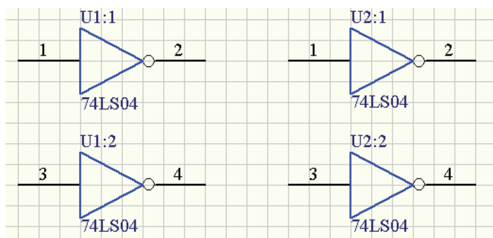


图 2-96　以数字显示后缀

3）Orcad Load Options：该选项组设置“Orcad”加载选项，当设置了该项后，用户如果使用“Orcad”软件加载该文件时，将只加载所设置域的引脚。

4）Options：该选项组有 3 个复选框，其意义分别如下。

- Auto-Junction：选中该复选框，用户在画导线时，就会在导线“T”字相接处自动产生节点，而“十”字相接处不会产生节点；如果没选中本选项，则无论在“T”字或“十”字相连接处都不会自动产生节点，用户必须手动添加节点。
- Drag Orthogonal：选中该复选框，只能以正交方式拖动或插入元器件，或者绘制图形对象，如果不选择该选项，则以环境所设置的分辨率拖动对象。
- Enable In-Place Editing：选中该复选框，用户可以对嵌套对象进行编辑，即可以对插入的连接对象实现编辑。

5）Default PowerObject Names：该选项组的各操作项用来设置默认的电源的接地名称，可以分别设置电源地、信号地、地球地的默认名称。

- Power Gound：该文本框用来设置电源地名称，如 GND。
- Signal Gound：该文本框用来设置信号地名称，如 SGND。
- Earth：该文本框用来设置地球地名称，如 EARTH。

6）Default Template File：该选项组可以用来设置默认的模板文件，当设置了该文件后，下次进行新的原理图设计时，就会调用该模板文件来设置新文件的环境变量。单击“Browse”按钮可以选择模板文件，单击“Clear”按钮则清除模板文件。

2.13.2　设置图形编辑环境

图形编辑环境设置可以通过“Graphical Editing（图形编辑）”选项卡来实现，该选项卡如图 2-97 所示。

1）Options：该选项组用来设置图形编辑环境的一些基本参数，分别介绍如下。

- Clipboard Reference：剪贴板参考。选中该复选框后，则当用户执行“Edit”→“Copy”命令或“Cut”命令时，用户将会被要求选择一个参考点，这对于复制一个原理图部分很重要。该参考点将是粘贴时被保留部分的点。建议用户也选中该复选框。
- Add Template to Clipboard：添加模板到剪贴板。选中该复选框后，选择“Edit”→“Copy”命令或“Cut”命令时，系统将会把模板文件添加到剪贴板。建议用户也选

中该复选框，以便保持环境的一致性。

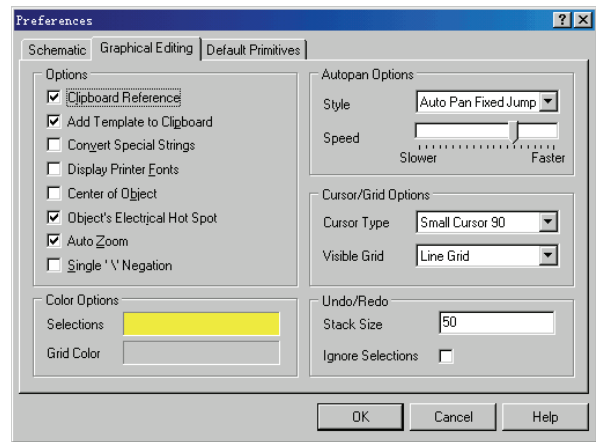


图 2-97 “Graphical Editing”选项卡

- Convert Special Strings：转换特殊字符串。如果选中该复选框后，用户将可以在图形设计窗口上看到特殊字符串的内容。
- Display Printer Fonts：选中该复选框后，用户可以看到哪些文本可以与打印出的文本一致，因为并不是所有文本都会被输出设备所支持。
- Center of Object：选中该复选框后，将可以使对象通过参考点或对象的中心进行移动或者拖动。
- Object’s Electrical Hot Spot：选中该复选框后，将可以通过对象最近的电气点进行移动或拖动对象。
- Auto Zoom：如果选中该复选框，则当插入元器件时，原理图可以自动实现缩放。
- Single '\'Negation：选中该选项后，则可以以'\'表示某字符为非或负。

2）Color Options：该选项组用来设置所选择的对象和栅格的颜色。

- Selectuions：该颜色设置项用来设置所选中的对象的颜色，默认为黄色。
- Grid Color：该颜色设置项用来设置栅格线的颜色，默认颜色为 213 号颜色。

3）AutoPan Options：该选项组各操作项用来自动移动参数，即绘制原理图时，常常要平移图形，通过该选项组可设置移动形式和速度。

4）Cursor/Grid Options：该选项组用来设置光标形式和栅格的类型。

- Cursor Type：该下拉列表框可设置光标类型，用户可以设置 3 种：90° 大光标、90° 小光标和 45° 小光标。
- Visible Grid：该下拉列表框用来设置栅格类型，包括点栅格和线栅格两种。

5）Undo/Redo：设置撤销操作和重操作的最深堆栈次数。设置了该数目后，则用户可以执行此数目的撤销和重操作。如果选择了“Ignore Selections”复选按钮，则会忽略选择对象的操作。

2.13.3 设置默认原始环境

默认原始环境设置可通过“Default Primitives”选项卡实现，如图 2-98 所示。

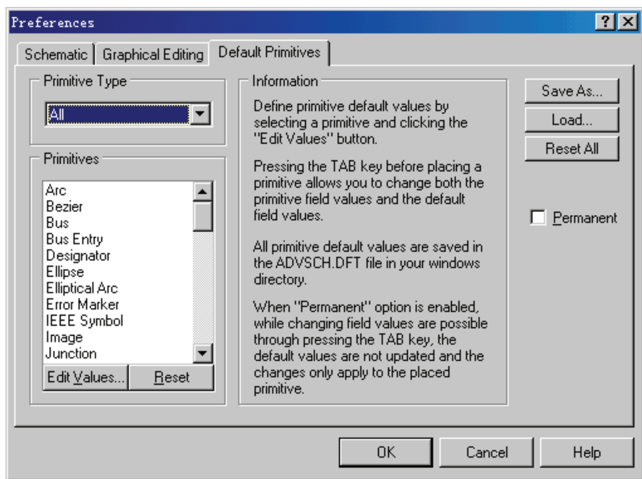


图 2-98 “Default Primitives”选项卡

用户可以通过该选项卡设置对象的默认设置，用户可以选中原始默认设置类型（Primitive Type），然后在“Primitives”列表框中选择所需要设置的对象，双击选项（或单击“Edit Values”按钮也可，单击“Reset”按钮使设置复原）后，系统即可弹出对象属性设置对话框，用户设置了各对象的原始默认属性后，再执行图形绘制或插入元器件操作时，就会以该设置的原始默认设置为基准进行操作。

2.14 绘制电路原理图实例

前面主要讲述了如何放置元器件、连接电路、绘制图形和编辑元器件，现在来进行一个完整的实例，实例原理图如图 2-99 所示。本实例为一个 D-A 功能模块，其中由一片 12 位的 D-A、两片运放、一些电阻和电容组成。下面将放置的元器件按照原理图需要连接起来，具体操作过程如下。

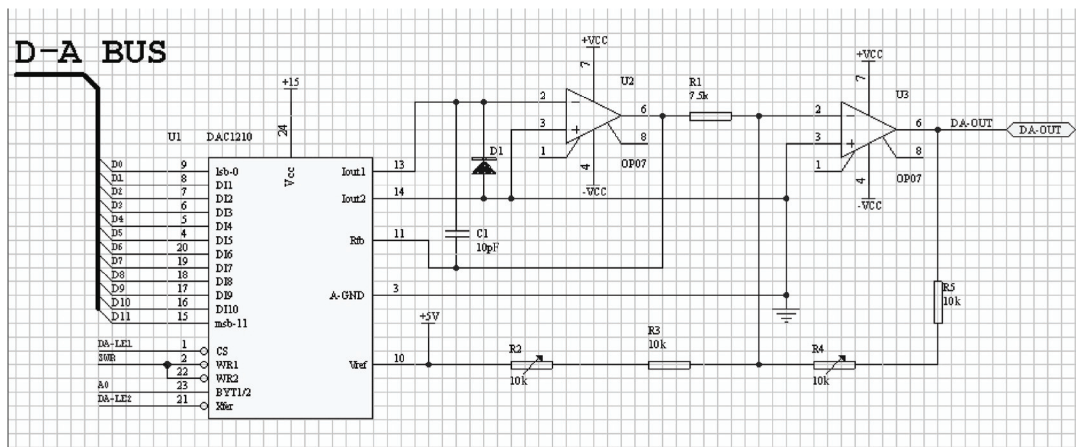


图 2-99 实例原理图

2.14.1 放置元器件

1．选择放置多个元器件

现在选择需要的元器件，并将它们放置在图纸上，放置元器件的操作可以参考本章前面的讲解。

2．编辑各元器件

如果各元器件需要修改属性，则可以执行编辑命令，对各元器件进行编辑。编辑元器件操作的详细过程均可以参考前面有关章节的讲解。

3．精确调整元器件位置

如果元器件的位置放置很零乱，则可以对元器件的位置进行调整，精确调整位置后，元器件的位置如图 2-100 所示。此时就可以进行线路连接操作，线路连接与节点放置是同时进行的。

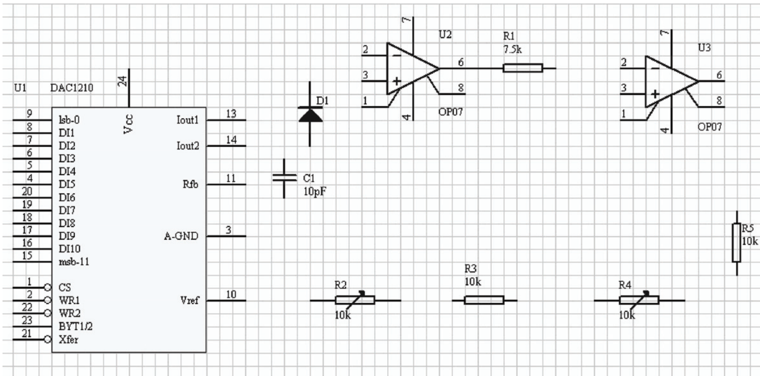


图 2-100　调整了位置的元器件位置

2.14.2 电气连接

1．连接线路

首先将“Wiring Tools”工具栏装载到当前图纸，然后执行连线命令，也可以选择“Place”→“Wire”命令来实现。

执行该命令后，就可以进行各节点的连线布置，对相关元器件连线并放置节点的电路图如图 2-101 所示。

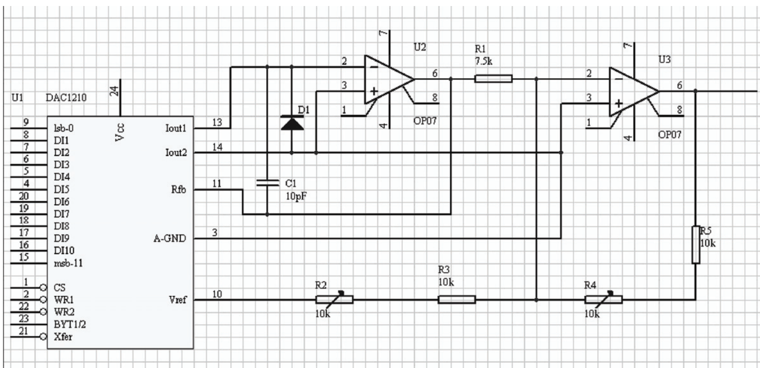


图 2-101　连接了部分连线后的电路图

2．绘制总线和总线出入端口

1）选择“Place”→“Bus”命令，绘制总线。

2）选择“Place”→“Bus Entry”命令，绘制总线出入端口。

3）选择“Place”→“Wire”命令，连接总线出入端口和 U1 的相应引脚，如图 2-102 所示。

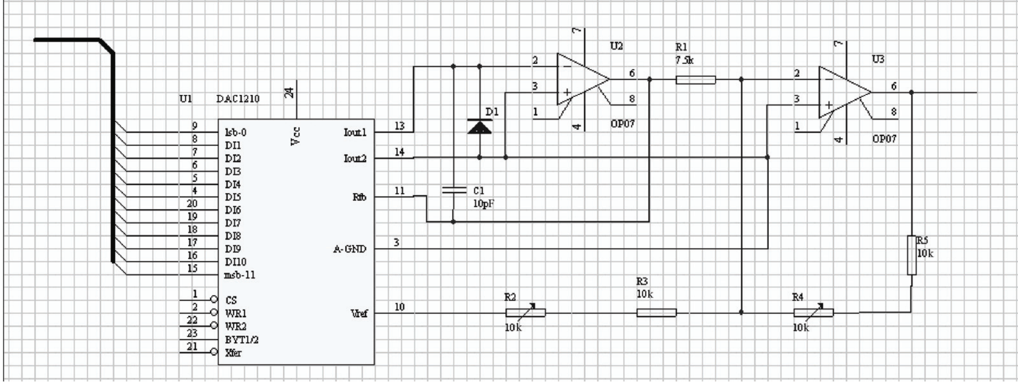


图 2-102　绘制总线和总线出入端口后的图形

3．放置网络标号

1）选择“Place”→“Net Lable”命令，分别放置网络标号，并按照图 2-99 所示的目标图形进行编辑。

2）选择“Place”→“Wire”命令，按照图 2-99 所示，绘制 U1 的 1、2、21、22 和 23 引脚处的连线。绘制连线后的图形如图 2-103 所示。

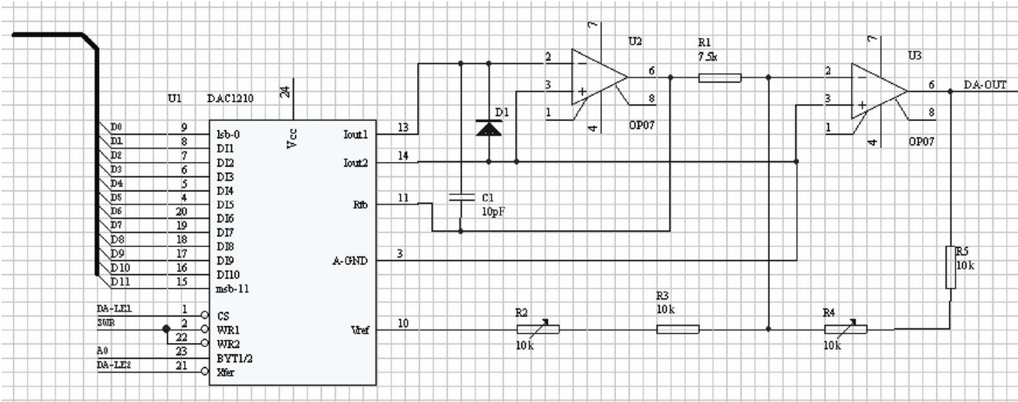


图 2-103　放置并编辑网络标号后的图形

4．放置电源和输入/输出端口

1）选择“Place”→“Power Port”命令，或者从“Power Objects”工具栏上选择相应的电源图形符号，放置了相应的电源后，再按照如图 2-99 所示的目标图形进行编辑。

2）选择“Place”→“Wire”命令，将放置的电源与对应的连接点连接起来。

3）选择“Place”→“Port”命令，或者从原理图布线工具栏上选择该命令，放置输入/

输出端口，并按照如图 2-99 所示的目标图形进行编辑，端口的“I/O Type”设置为“Out”。放置并编辑电源和输入/输出端口后的图形如图 2-104 所示。

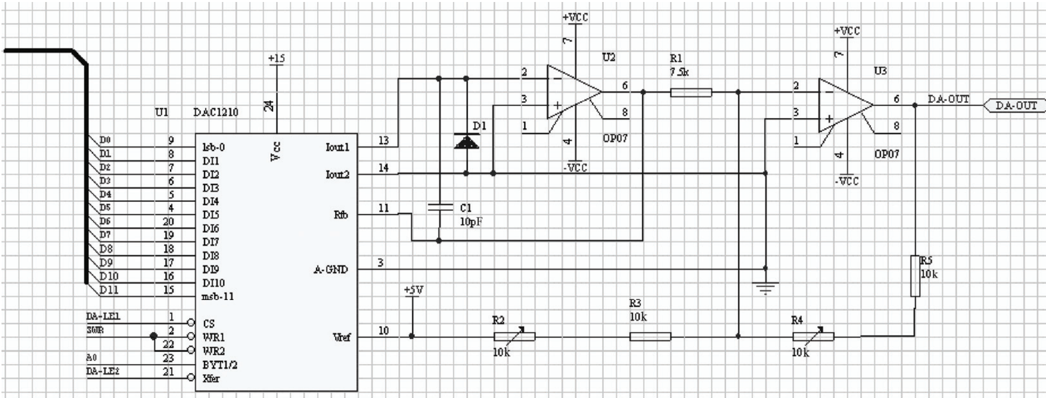


图 2-104　放置电源和输入/输出端口后的图形

5．放置注释文字

选择“Place”→“Annotation”命令，放置注释文字“D-A BUS”。放置注释文字后，该 D/A 输出模块就算完成，最后获得的图形如图 2-99 所示。

2.14.3　保存原理图文件

当打开一个旧的电路图文件并进行修改之后，选择“File”→“Save”命令可自动按原文件名将其保存，同时覆盖原先的文件。

在保存时如果不希望覆盖原先的文件，可采用换名保存的方法。具体做法是选择“Save Copy As”命令，打开如图 2-105 所示的“Save As”对话框，在此对话框中指定新的存盘文件名即可。

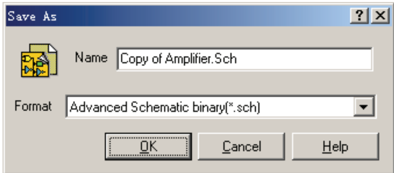


图 2-105　“Save As”对话框

如果在“Save As”对话框中打开“Format”下拉列表框，就可以看到 Schematic 所能够处理的各种文件格式如下。

Advanced Schematic binary（*.sch）　Advanced Schematic 电路图纸文件，二进制格式
Advanced Schematic ASCII（*.asc）　Advanced Schematic 电路图纸文件，文本格式
Orcad Schematic（*.sch）　SDT4 电路图纸文件，二进制格式
Advanced Schematic template ASCII（*.dot）　电路图模板文件，文本格式
Advanced Schematic template binary（*.dot）　电路图模板文件，二进制格式
Advanced Schematic binary files（*.prj）　项目中的主图纸文件

默认情况下，电路图文件的扩展名为“sch”。

习题

1．简述原理图设计的一般步骤。

2．创建原理图，并对图纸进行设置，设置为 A4 纸大小，图纸方向为横向（Landscape），标题栏为标准的。

3．请理解一般图形和电气元器件的差别。

4．绘制如图 2-106～图 2-109 所示的电路原理图。

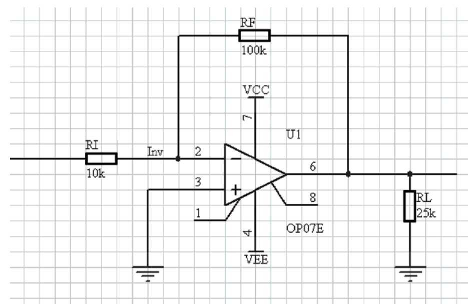


图 2-106　模拟放大电路

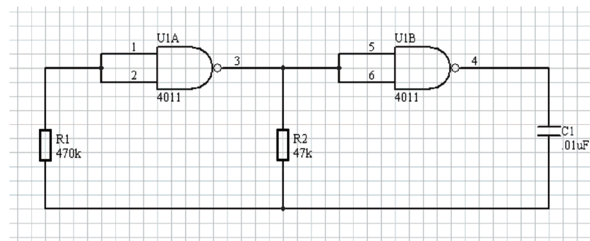


图 2-107　CMOS 振荡器电路

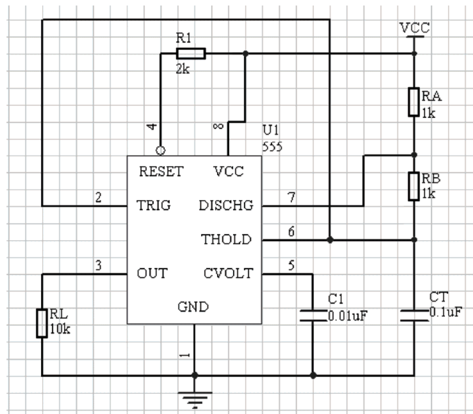


图 2-108　555 振荡器电路

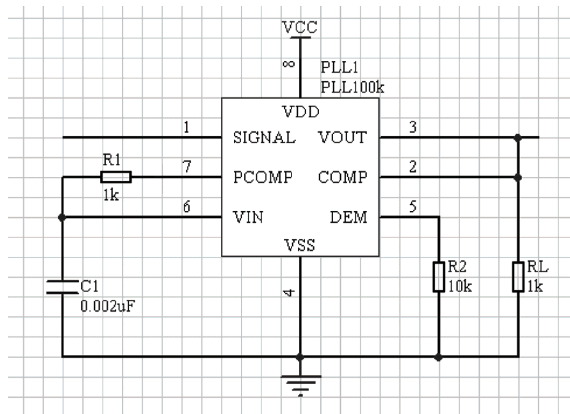


图 2-109　锁相环电路

5．绘制如图 2-110 所示的放大器原理图。

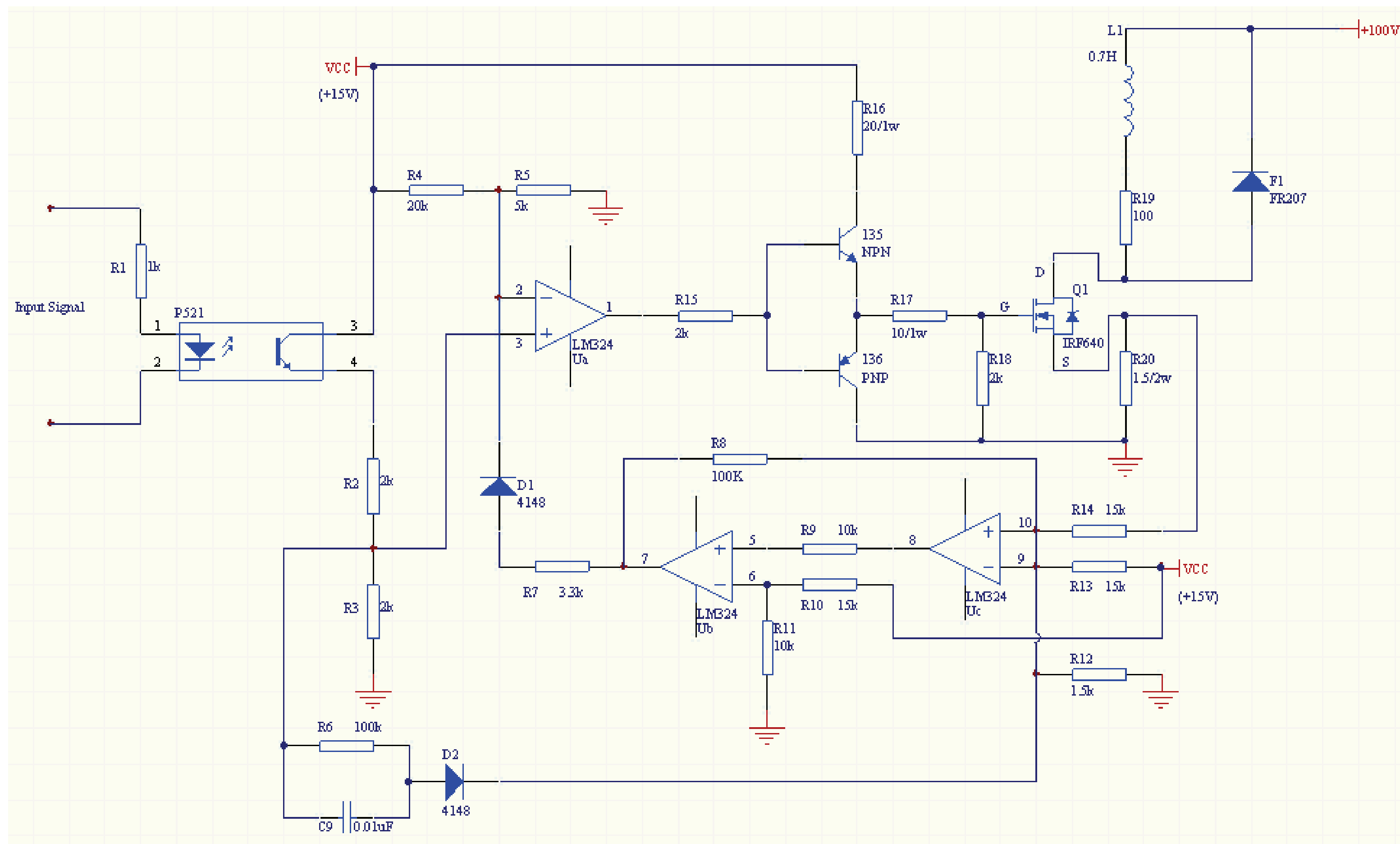


图 2-110　放大器原理图

6．绘制如图 2-111 所示的译码器电路原理图，放置所有元器件、连接电气线路、绘制总线以及网络名称等。

图 2-111　译码器电路原理图

第 3 章　原理图设计进阶

前面几章讲述了如何绘制电路原理图，读者掌握了绘制原理图的基本知识，但是在绘制原理图是为了制作印制电路板，所以需要生成网络表，并需要对电路图进行电气检查。另外，一个大的项目一般是由多个原理图组成的，所以常常需要将项目分为多个子项目，这在原理图绘制中可以通过层次原理图的设计来实现。本章主要讲述这些重要的知识。

3.1　层次原理图的设计

简单地说，层次电路原理图设计就是模块化电路图设计。将庞大的电路原理图层次化、模块化，可以大大提高设计的效率。

下面就详细介绍层次原理图设计。

3.1.1　电路的层次化设计方法

电路的层次化设计方法实际上是一种模块化的设计方法。用户可以将待设计的系统划分为多个子系统，子系统下面又可划分为若干功能模块，功能模块再细分为若干个基本模块。设计好基本模块，定义好模块之间的连接关系，即可完成整个设计过程。

设计时可以从系统开始，逐级向下进行，也可以从最基本的模块开始，逐级向上进行，还可以调用相同的电路图重复使用。

1．自顶而下的层次化设计方法

所谓自顶而下就是将总的电路分为子系统模块，然后再分割为基本模块。使用自顶而下的方法来实现层次化设计的流程图如图 3-1 所示。

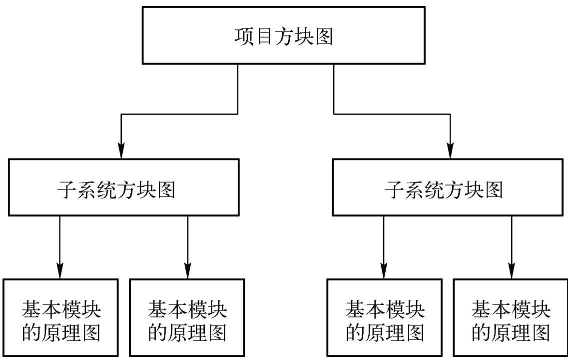


图 3-1　自顶而下的层次化设计流程图

2．自下而上的层次图设计方法

所谓自下而上就是先完成子模块原理图设计，然后再将它们组成子系统电路方块图，最

后生成总的项目原理图，其流程图如图 3-2 所示。

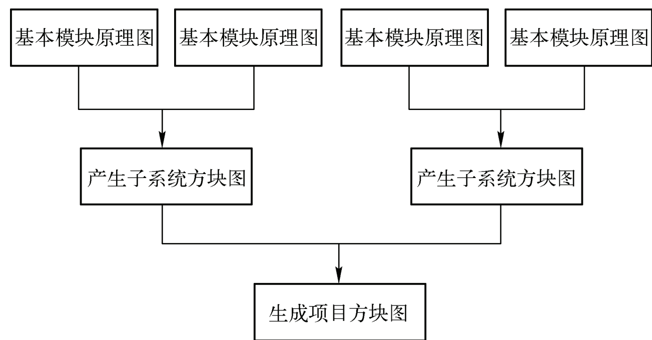


图 3-2　自下而上的层次图设计流程图

3．重复性层次图的设计方法

所谓重复性层次图是指在层次式电路图中，有一个或多个电路图被重复地调用。绘制电路图时，不必重复绘制相同的电路图。典型的重复性层次图的示意如图 3-3 所示。

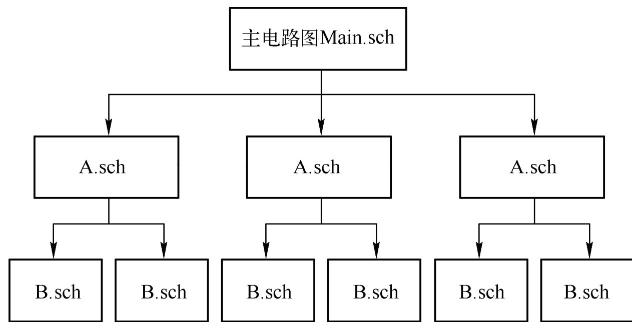


图 3-3　重复性层次图的示意

图 3-3 中，共有 10 张原理图，除了主电路图 Main.sch 外，A.sch 共出现了 3 次，B.sch 出现了 6 次。只须绘制其中的 3 张，即主电路图、A.sch 和 B.sch。在绘制被重复调用的原理图时，元器件序号先不必指定，留待后面让系统自己处理。

要让重复性层次图有实用价值，还必须将各个被重复调用的原理图复制成副本，安排好各个副本中元器件的序号，才能够产生网络表，进行电路板设计。以图 3-3 为例，首先将 Main.sch、A.sch 和 B.sch 这 3 个电路图转化成相互独立且相互关联的 10 张电路图，即将重复性层次图转化为一般性层次图，其步骤如下。

1）重复性层次图向一般性层次图转化，将重复性的原理图复制成层次图。

2）复制完电路图后，必须将各个电路图中的元器件进行编号，即设置元器件序号。选择“Tools”→“Annotate”命令（如图 3-4 所示）。弹出如图 3-5 所示的“Annotate”对话框。

其中，“Annotate Options”选项中，“?Parts”项是针对整个项目的；“Update Sheet Numbers”选项的功能是重新编排图号，此项必选。如果项目中元器件序号还没有编号的话，系统将自动给予编号。图 3-5 所示对话框的详细操作请参考第 2.10 节。

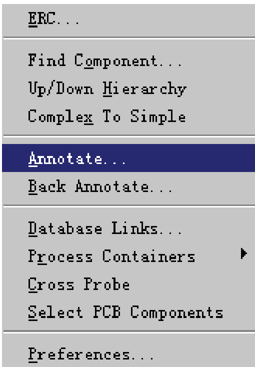


图 3-4 “Tools”菜单

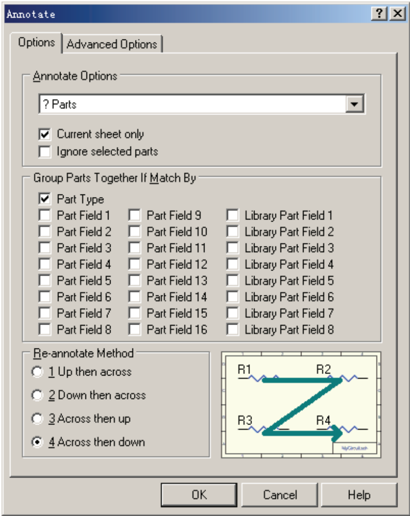


图 3-5 “Annotate”对话框

3）设置完对话框后，系统立即自动编号，并将编号的结果存为“*.rep”文件，作为项目的一部分出现在项目管理器中。同时系统还会启动文本编辑器，显示报告文件。

用户还可以选择“Tools”→“Back Annotate”命令返回重新编号前的情况。

3.1.2 层次化的原理图

前面讲到了层次电路图设计的几种方法，现在就利用其中的自顶而下的层次化设计方法，以实例来介绍绘制层次原理图的一般过程。

图 3-6 所示是一个层次化的原理图，整张原理图表示了一张完整的电路，该电路是一个 4 串行接口的原理图。它由串行接口与线驱动模块（4 Port UART and Line Drivers.sch）和 ISA 总线与地址解码模块（ISA Bus and Address Decoding.sch）两个模块组成，其层次结构关系如图 3-7 所示。

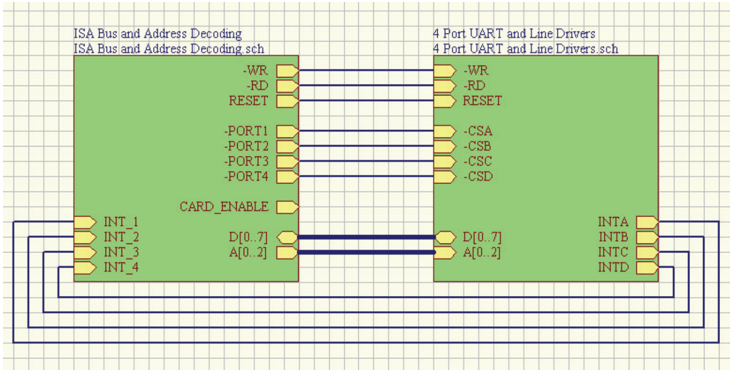


图 3-6 绘制层次原理图实例

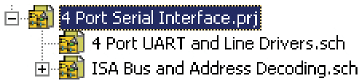


图 3-7 层次结构关系

绘制层次原理图一般步骤如下。

1）启动原理图设计服务器（请参见 1.2 节），并设置层次原理图的文件名。

2）单击“Wiring Tools”中的按钮，光标变为十字形状，并带着方块电路，如图 3-8 所示。

在此命令状态下，按〈Tab〉键，会弹出“Sheet Symbol（方块电路属性设置）”对话框，如图 3-9 所示。

在对话框中，将“Filename”选项设置为“4 Port UART and Line Drivers.sch”，这表明该电路代表了串行接口和线驱动模块。将“Name”选项设置为“4 Port UART and Line Drivers”，这就定义了方块电路的名称。

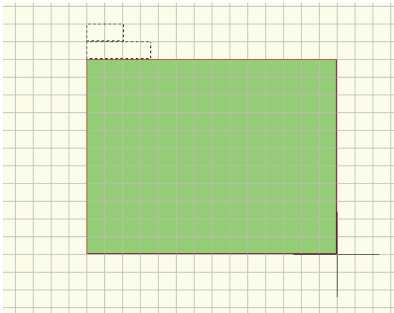


图 3-8　放置完方块电路的状态

3）设置完属性后，确定方块电路的大小和位置。将光标移动到适当的位置后，单击确定方块电路的左上角位置。然后拖动鼠标，移动到适当的位置后，单击确定方块电路的右下角位置。这样就定义了方块电路的大小和位置，绘制出了一个子模块，如图 3-10 所示。

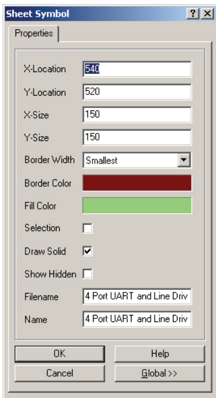


图 3-9　“Sheet Symbol”对话框

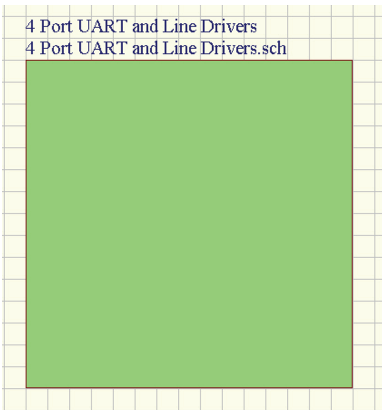


图 3-10　绘制串行接口和线驱动模块的方块电路

用户如果要更改文字标注，只需双击文字标注，会出现如图 3-11 所示的“Sheet Symbol Name（方块电路文字属性设置）”对话框。

4）绘制完一个方块电路后，仍处于放置方块电路的命令状态下，用户可以用同样的方法放置其他的方块电路，并设置相应的方块电路文字属性，结果如图 3-12 所示。

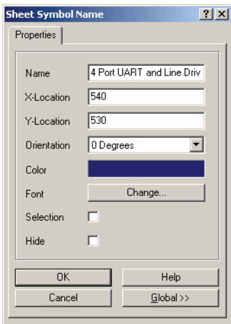


图 3-11　“Sheet Symbol Name”对话框

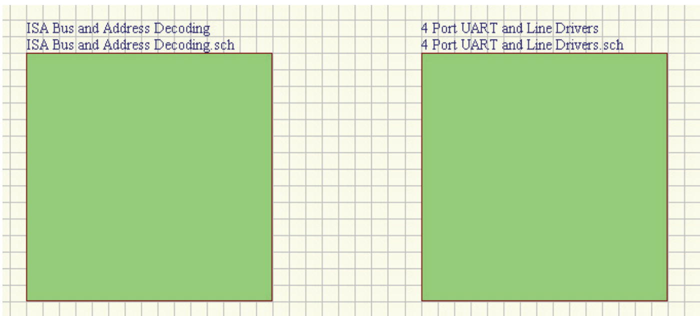


图 3-12　绘制完所有的方块电路

5）单击“Wiring”工具栏中的按钮 或者选择“Place”→“Sheet Entry”命令，光标变为十字形状，然后在需要放置端口的方块图上单击，此时光标处就带着方块电路的端口符号，如图 3-13 所示。

注意：当在需要放置端口的方块图上单击，光标处出现方块电路的端口符号后，光标就只能在该方块图内部移动，直到放置了端口并结束该部操作以后，光标才能在设计窗口自由移动。

在此命令状态下，按〈Tab〉键，会出现“Sheet Entry（方块电路端口属性设置）”对话框，如图 3-14 所示。在对话框中，将“Name”选项设置为“WR”，即将端口名设为写选通信号。“I/O Type”选项在此设置为“Output”，即可将端口设置为输出。

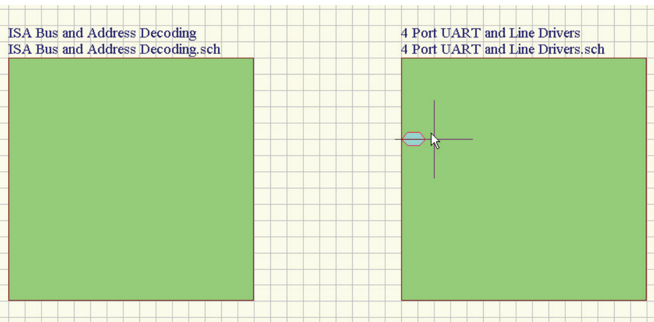


图 3-13　放置方块电路 I/O 端口的状态

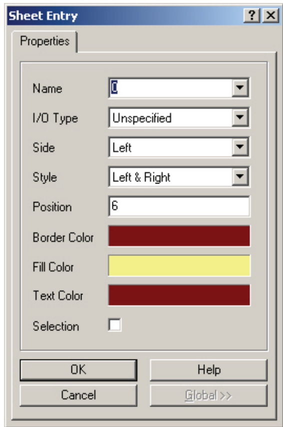


图 3-14　“Sheet Entry”对话框

“Side”选项用来指定方块电路端口在方块图中的位置，如左（Left）、右（Right）、顶部（Top）和底部（Bottom）。相应地，在“Style”选项处会出现对应于“Side”选项的设置项。

6）设置完属性后，将光标移动到适当的位置后，单击将其定位，如图 3-15 所示。同样，根据实际电路的安排，可以在串行接口和线驱动模块上放置其他端口，如图 3-16 所示。

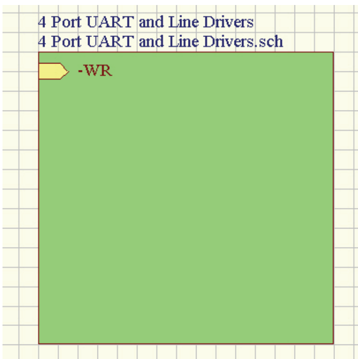


图 3-15　放置完一个端口

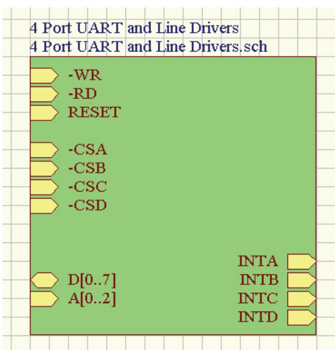


图 3-16　放置完端口的方块电路

7）重复上述操作，设置其他方块电路，如图 3-17 所示。

8）在图 3-17 的基础上，将电气关系上具有相连关系的端口用导线或总线连接在一起，如图 3-18 所示。

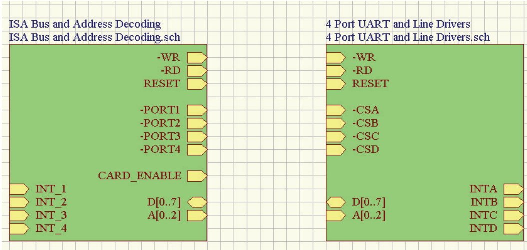


图 3-17　放置完所有端口的原理图

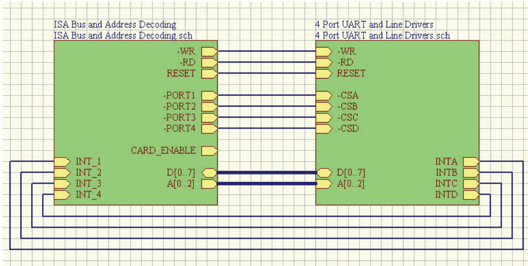
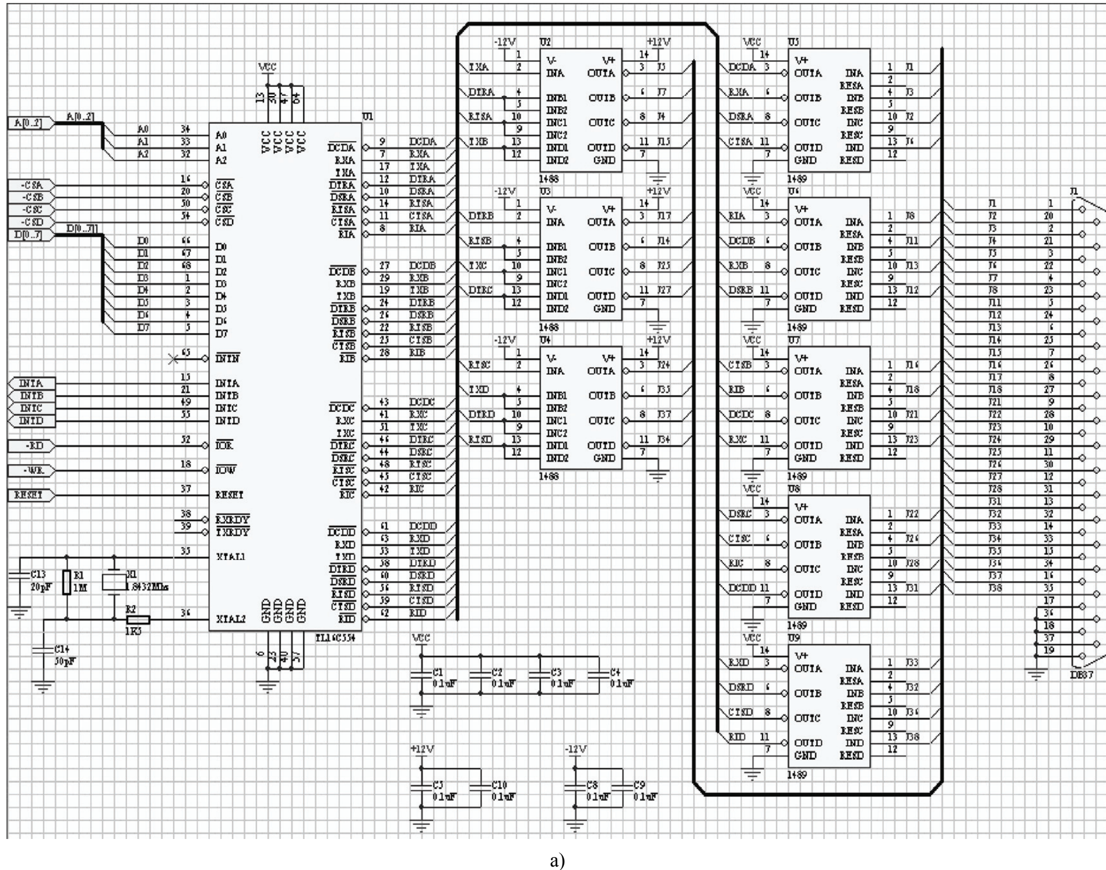


图 3-18　最终结果

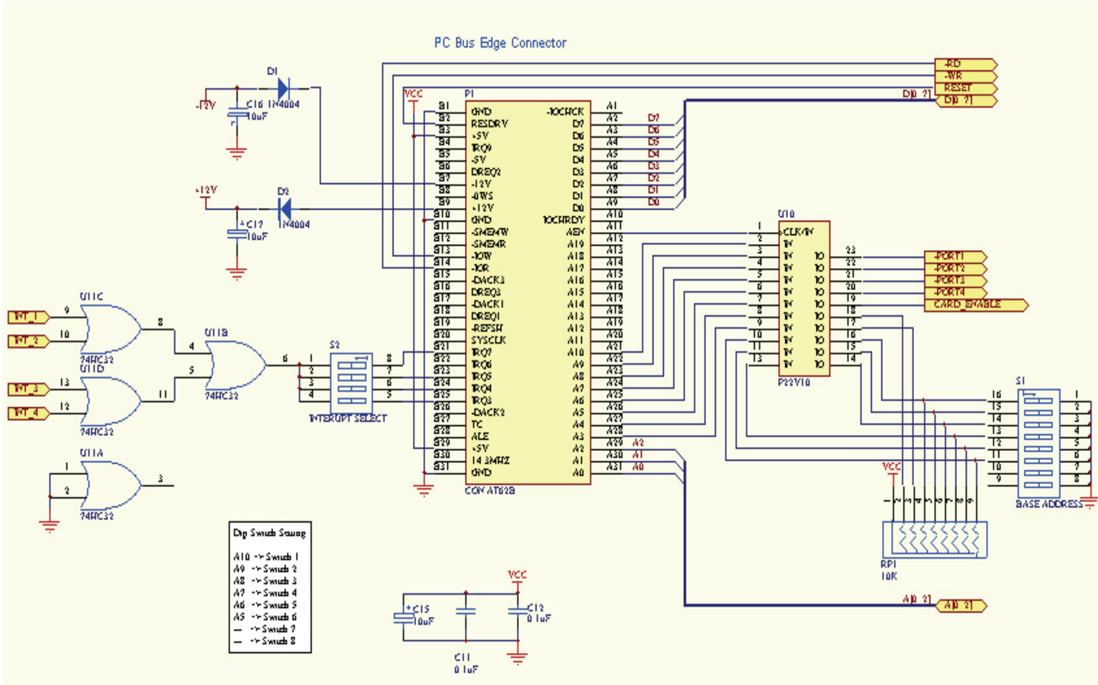
9）在每个模块的原理图中，选择“Place”→“Port”命令，在对应如图 3-18 所示的方块图出入端口的连接点添加相应的端口，并设置为与方块图出入端口同名。

通过上述步骤，就建立了一个层次原理图。各个模块的原理图如图 3-19 所示。



a)

图 3-19　4 串行接口的层次原理图



b)

图 3-19　4 串行接口的层次原理图（续）

a) 串行接口和线驱动模块（4 Port UART and Line Drivers.sch）　b) ISA 总线与地址解码模块（ISA Bus and Address Decoding.sch）

3.1.3　不同层次电路之间的切换

在同时读入或编辑层次电路的多张原理图时，不同层次电路图之间的切换是必不可少。切换的方法如下。

- 选择“Tools”→“Up/Down Hierarchy”命令，如图 3-4 所示。
- 单击主工具栏的按钮。

执行该命令后，光标变成了十字形状。如果是上层切换到下层，只需移动光标到下层的方块电路上，单击即可进入下一层。如果是下层切换到上层，只需移动光标到上层的方块电路的某个端口上，单击即可进入上一层。

利用项目管理器，用户可以直接单击项目窗口的层次结构中所要编辑的文件名即可。

3.1.4　由方块电路符号生成原理图中的 I/O 端口符号

在采用自下而上设计层次电路图时，是先建立方块电路，再制作该方块电路相对应的原理图文件。而制作原理图时，其 I/O 端口符号必须和方块电路上的 I/O 端口符号相对应。Protel 99 SE 提供了一条捷径，即由方块电路符号直接生成原理图文件的 I/O 端口符号。下面以图 3-6 为例，讲述其一般步骤。

1）选择“Design”→“Create Sheet From Symbol”命令。光标变成了十字形状，移动光标到方块电路 CPU 上，如图 3-20 所示。

单击，会弹出如图 3-21 所示的“Confirm”对话框。

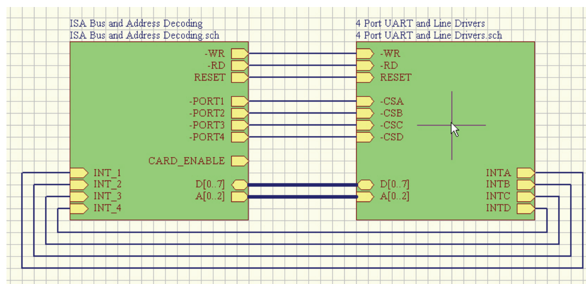


图 3-20　移动光标至方块电路

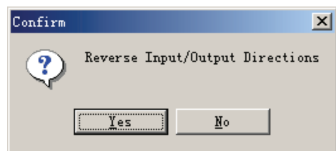


图 3-21　“Confirm”对话框

2）此处单击“Yes”按钮，则 Protel 99 SE 自动生成一个文件名为 CPU.sch 的原理图文件，并布置好 I/O 端口，如图 3-22 所示。

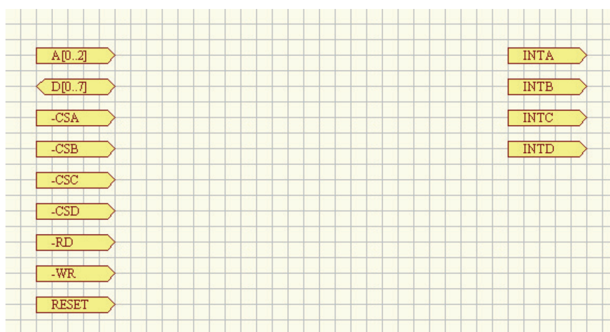


图 3-22　产生的新原理图

如单击“Yes”按钮，则生成的 I/O 端口的电气特性与原来的方块电路中相反，即输出变为输入。如单击“No”按钮，则生成的 I/O 端口的电气特性与原来的方块电路中相同，即输出仍为输出。

3.1.5　由原理图文件生成方块电路符号

如果在设计中采用自顶而上的设计方法，则先设计原理图，再设计方块电路。Protel 99 SE 则又提供了一条捷径，即由一张已经设置好端口的原理图直接生成方块电路符号。

仍以图 3-6 为例，讲述其一般步骤。

1）选择“Design”→“Create Symbol From Sheet”命令，会弹出如图 3-23 所示的“Choose Document to Place（选择产生方块电路的文件）”对话框。

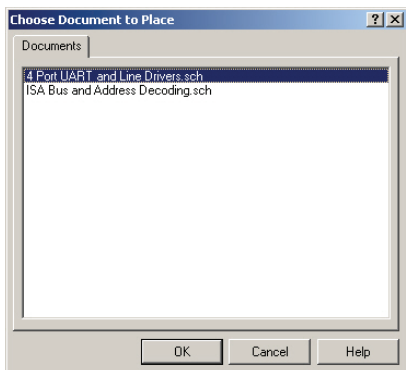


图 3-23　“Choose Document to Place”对话框

选择要产生的方块电路的文件，单击“OK”按钮，同样会出现如图 3-21 所示的对话框。单击“Yes”按钮，方块电路会出现在光标上，如图 3-24 所示。

2）移动光标至适当位置，按照前面放置方块电路的方法，将其定位，则可自动生成名为 CPU.sch 的方块电路，如图 3-25 所示。然后根据层次

原理图设计的需要，可以对方块电路上的端口进行适当调整。

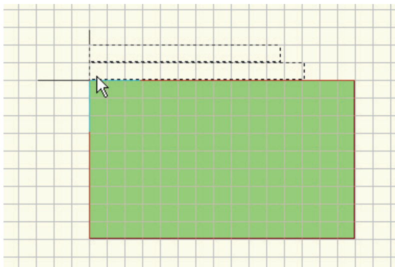


图 3-24　由原理图文件生成方块电路符号的状态

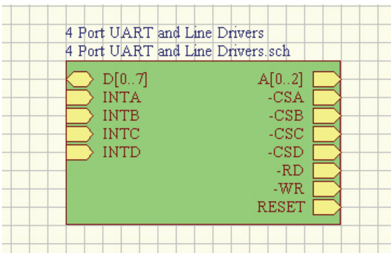


图 3-25　生成的方块电路

3.1.6　生成层次表

层次表记录了一个由多张绘图页组成的层次原理图的层次结构数据，其输出的结果为 ASCII 文件，文件的扩展名为“Rep”。生成层次原理图的操作如下。

1）打开已经绘制的层次原理图，比如打开前面绘制的层次原理图，如图 3-18 所示。

2）选择“Reports”→“Design Hierarchy”命令，系统将会生成该原理图的层次关系，如下所示。

Design Hierarchy Report for D:\Program Files\Design Explorer 99 SE\Examples\4 Port Serial Interface.ddb

　　4 Port Serial Interface

　　　　Libraries

　　　　　　4 Port Serial Interface PCB Library.lib

　　　　　　4 Port Serial Interface Schematic Library.lib

　　　　4 Port Serial Interface Board.pcb

　　　　4 Port Serial Interface.prj

　　　　　　4 Port UART and Line Drivers.sch

　　　　　　ISA Bus and Address Decoding.sch

　　　　　　　　Address Decoder.pld

从上面的层次表文本中，可以看到原理图的层次关系。

3.2　使用绘图工具

在电路图中加上一些说明性的文字或是图形，除了可以让整个绘图页显得生动活泼，还可以增强电路图的说服力及数据的完整性。Schematic 提供了很好的绘图功能，足以满足绘制说明性图形的基本要求。由于图形对象并不具备电气特性，所以在进行电气规则检查（ERC）和转换成网络表时，它们并不产生任何影响，也不会附加在网络表数据中。

3.2.1　绘图工具栏

在 Schematic 中，利用一般绘图工具栏上的各个按钮进行绘图是十分方便的，绘图工具栏如图 3-26 所示，可以选择“View”→“ToolBars”→“Drawing Tools”命令来显示。绘图工具

栏上各按钮的功能见表 3-1。

另外，选择“Place”→“Drawing Tools”命令也可以找到绘图工具栏上各按钮所对应的命令，如图 3-27 所示。



图 3-26　绘图工具栏

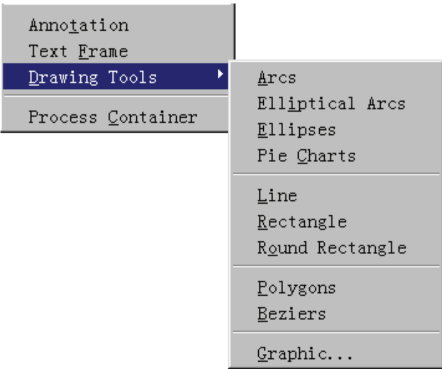


图 3-27　菜单中的绘图命令

表 3-1　绘图工具栏的按钮及其功能

按　　钮	功　　能	按　　钮	功　　能
	绘制直线		绘制实心直角矩形
	绘制多边形		绘制实心圆角矩形
	绘制圆弧与椭圆弧		绘制椭圆形及圆形
	绘制贝塞尔曲线		绘制饼图
	插入文字		插入图片
	插入文字框		将剪贴板上的内容矩阵排列

3.2.2　绘制直线

直线（Line）在功能上完全不同于元器件间的导线（Wire）。导线具有电气意义，通常用来表现元器件间的物理连通性，而直线并不具备任何电气意义。

绘制直线可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Lines”命令或单击一般绘图工具栏上的按钮，将编辑模式切换到画直线模式，此时鼠标指针除了原先的空心箭头之外，还多出了一个大十字符号。在绘制直线状态下，将大十字指针符号移动到直线的起点，单击然后移动鼠标，屏幕上会出现一条随鼠标指针移动的预拉线。如果不满意这条预拉线，可以右击或按下〈Esc〉键取消这条直线的绘制。如果还处于绘制直线模式下，则可以继续绘制下一条直线，直到右击或按下〈Esc〉按键退出绘图状态。

如果在绘制直线的过程中按下〈Tab〉键，或在已绘制好的直线上双击，即可打开如图 3-28 所示的“PolyLine（多线）”对话框，从中可以设置关于该直线的一些属性，包括“Line Width（线宽）”有“Smallest”“Small”“Medium”“Large”几种、“Line Style（线型）”有“Solid（实线）”、“Dashed（虚线）”“Dotted（点线）”“Color（直线的颜色）”和“Selection（切换选取状态）”。

单击已绘制好的直线，可使其进入选中状态，此时直线的两端会各自出现一个四方形的小黑点，即所谓的控制点，如图 3-29 所示。通过拖动控制点可以调整这条直线的起点与终点位置。另外，还可以直接拖动直线本身来改变其位置。

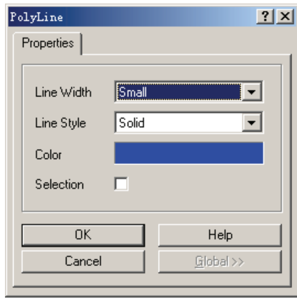


图 3-28 “PolyLine”对话框

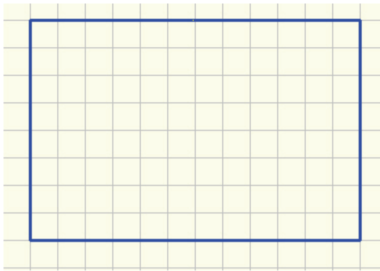


图 3-29 绘制直线

3.2.3 绘制多边形

所谓多边形（Polygon）是指利用鼠标指针依次定义出图形的各条边所形成的封闭区域。

1．绘制多边形命令

绘制多边形可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Polygon”命令或单击绘图工具栏上的按钮，将编辑状态切换到绘制多边形模式。

2．绘制多边形

执行此命令后，鼠标指针旁边会多出一个大十字符号，首先在待绘制图形的一个角单击，然后移动鼠标到第二个角单击形成一条直线，然后再移动鼠标，这时会出现一个随鼠标指针移动的预拉封闭区域。现在依次移动鼠标到待绘制图形的其他角再单击。如果右击就会结束当前多边形的绘制，开始进入下一个绘制多边形的过程。如果要将编辑模式切换回待命模式，可再右击或按下〈Esc〉键。绘制的多边形如图 3-30 所示。

3．编辑多边形属性

如果在绘制多边形的过程中按下〈Tab〉键，或是在已绘制好的多边形上双击，就会弹出如图 3-31 所示的“Polygon（多边形）”对话框，可从中设置该多边形的一些属性，如“Border Width（边框宽度）”“Border Color（边框颜色）”“Fill Color（填充颜色）”“Draw Solid（设置为实心多边形）”“Selection（切换选取状态）”。

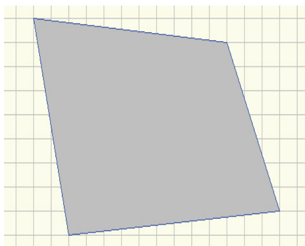


图 3-30 绘制的多边形

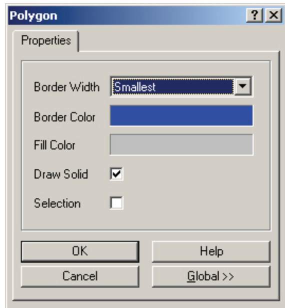


图 3-31 “Polygon”对话框

如果直接单击已绘制好的多边形，则可使其进入选取状态，此时多边形的各个角都会出现控制点，可以通过拖动这些控制点来调整该多边形的形状。此外，也可以直接拖动多边形本身来调整其位置，如图 3-32 所示。

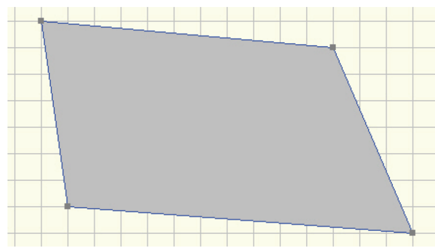


图 3-32　改变多边形形状

3.2.4　绘制圆弧与椭圆弧

1．绘制圆弧与椭圆弧命令

绘制圆弧线可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Arcs”命令，将编辑模式切换到绘制圆弧线模式。绘制椭圆弧线可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Elliptic Arcs”命令或单击绘图工具栏上的按钮。

2．绘制图形

1）绘制圆弧，绘制圆弧的操作过程如下。

首先在待绘图形的圆弧中心处单击，然后移动鼠标会出现圆弧预拉线。接着调整好圆弧半径，然后单击，指针会自动移动到圆弧缺口的一端，调整好其位置后单击，指针会自动移动到圆弧缺口的另一端，调整好其位置后单击，就结束了该圆弧线的绘制，并进入下一个圆弧线的绘制流程，下一次圆弧的默认半径为刚才绘制的圆弧半径，开口也一致。

结束绘制圆弧操作后，右击或按下〈Esc〉键，即可将编辑模式切换回等待命令模式。绘制的圆弧如图 3-33 所示。

2）绘制椭圆弧，所谓椭圆弧线与圆弧线略有不同，圆弧线实际上是带有缺口的标准圆形，而椭圆弧线则为带有缺口的椭圆形。所以利用绘制椭圆弧线的功能也可以绘制出圆弧线。椭圆弧绘制的操作过程如下。

首先在待绘制图形的椭圆弧中心点处单击，然后移动鼠标会出现椭圆弧预拉线。接着调整好椭圆弧 X 轴半径后单击，然后移动鼠标调整好椭圆弧 Y 轴半径后再单击，指针会自动移动到椭圆弧缺口的一端，调整好其位置后单击，指针会自动移动到椭圆弧缺口的另一端，调整好其位置后单击，就结束了该椭圆弧线的绘制，同时进入下一个椭圆弧线的绘制流程。

结束绘制椭圆弧操作后，右击或按下〈Esc〉键，即可将编辑模式切换回等待命令模式。绘制的图形如图 3-34 所示。

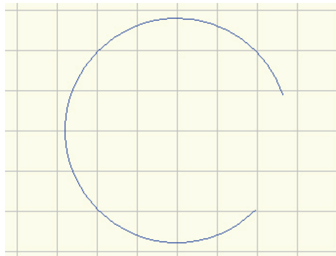


图 3-33　绘制的圆弧

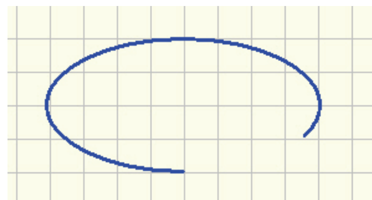


图 3-34　绘制的椭圆弧

3．编辑图形属性

如果在绘制圆弧线或椭圆弧线的过程中按下〈Tab〉键，或者单击已绘制好的圆弧线或椭圆弧线，可打开其属性对话框。“Arc（圆弧属性）”和“Elliptical Arc（椭圆弧属性）”对话框内容差不多，如图 3-35 和图 3-36 所示，只不过“Arc”对话框中控制半径的参数只有“Radius”一项，而“Elliptical Arc”对话框则有“X-Radius、Y-Radius（X 轴、Y 轴半径）”两种。其他的属性有“X-Location、Y-Location（中心点的 X 轴、Y 轴坐标）”“LineWidth（线宽）”“Start Angle（缺口起始角度）”“End Angle（缺口结束角度）”“Color（线条颜色）”“Selection（切换选取状态）”。

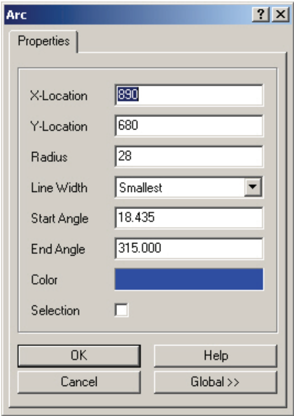


图 3-35 “Arc”对话框

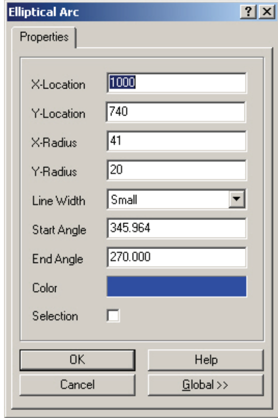


图 3-36 “Elliptical Arc”对话框

如果单击已绘制好的圆弧线或椭圆弧线，可使其进入编辑状态，此时其半径及缺口端点会出现控制点，拖动这些控制点来调整圆弧线或椭圆弧线的形状。此外，也可以直接拖动圆弧线或椭圆弧线本身来调整其位置。

3.2.5 放置注释文字

1．放置注释文字命令

要在绘图页上加上注释文字（Annotation），可以选择“Place”→“Annotation”命令或单击绘图工具栏上的按钮 **T**，将编辑模式切换到放置注释文字模式。

2．放置注释文字

执行此命令后，此时鼠标指针旁边会多出一个大十字和一个虚线框，在想放置注释文字的位置上单击，绘图页面中就会出现一个名为“Text”的字串，并进入下一次操作过程，如图 3-37 所示。

如果要将编辑模式切换回等待命令模式，可在此时右击或按下〈Esc〉键。

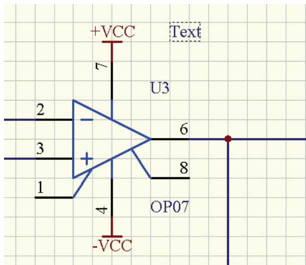


图 3-37 放置注释的文本

3．编辑注释文字

如果在完成放置动作之前按下〈Tab〉键，或者直接在“Text”字串上双击，即可打开“Annotation（注释文字属性）”对话框，如图 3-38 所示。

在此对话框中最重要的属性是“Text”项，它负责保存显示在绘图页中的注释文字串（只能是一行），并且可以修改文字。此外还有其他几项属性：“X-Location、Y-Location（注释文字的坐标）”“Orientation（字串的放置角度）”“Color（字串的颜色）”“Font（字体）”“Selection（切换选取状态）”。

如果想修改注释文字的字体，则可以单击“Change”按钮，系统将弹出一个“字体”对话框，此时可以设置字体的属性。

下面对图 3-37 所示的注释文字进行属性修改设置，在“注释文字属性”对话框单击“Change”按钮，然后将“Text”文本修改为“D-A 模块”，颜色修改为红色，字体修改为楷体 GB2312。修改属性后的注释文字如图 3-39 所示。

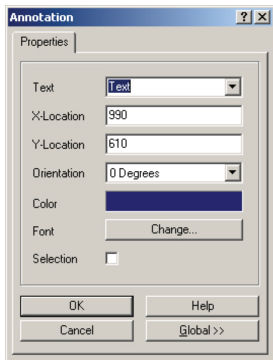


图 3-38 “Annotation”对话框

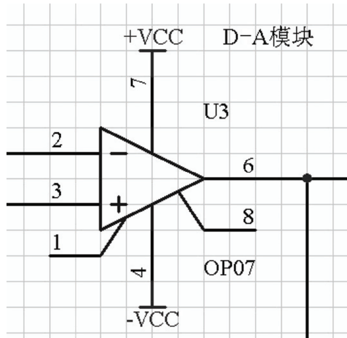


图 3-39 修改注释文字属性后的图形

3.2.6 放置文本框

1．放置文本框命令

要在绘图页上放置文本框可选择“Place”→“Text Frame”命令或单击绘图工具栏上的按钮▤，将编辑状态切换到放置文本框模式。

2．放置文本框

前面所介绍的注释文字仅限于一行的范围，如果需要多行的注释文字，就必需使用“Text Frame（文本框）”。

执行此命令后，此时鼠标指针旁边会多出一个大十字符号，在需要放置文本框的一个边角处单击，然后移动鼠标就可以看到一个虚线的预拉框，单击该预拉框的对角位置，就结束了当前文本框的放置过程，并自动进入下一个放置过程。

放置了文本框后，绘图区应该有一个白底的矩形框，其中有一个“Text”字串，如图 3-40 所示。如果要将编辑状态切换回等待命令模式，可在此时右击或按下〈Esc〉键。

3．编辑文本框

如果在完成放置文本框的动作之前按下〈Tab〉键，或者双击文本框，就会打开“Text Frame（文本框属性）”对话框，如图 3-41 所示。

在这个对话框中最重要的选项是“Text”项，它负责保存显示在绘图页中的注释文字串，但在此处并不局限于一行。单击“Text”项右边的“Change”按钮可打开如图 3-42 所示的“Edit TextFrame Text”窗口，这是一个文字编辑窗口，可以在此编辑要显示的字串。

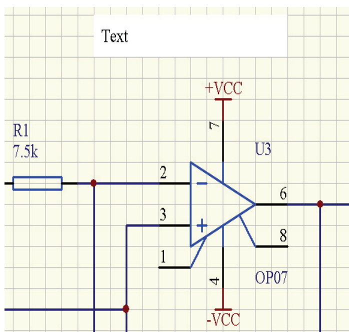


图 3-40　放置的文本框

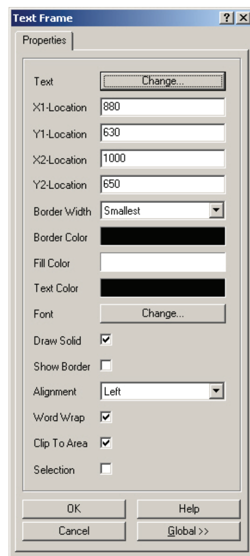


图 3-41　“Text Frame”对话框

在“Text Frame”对话框中还有其他选项，如“X1-Location、Y1-Location（文本框左上角坐标）”“X2-Location、Y2-Location（文本框右下角坐标）”“Border Width（边框宽度）”“Border Color（边框颜色）”“Fill Color（填充颜色）”“Text Color（文本颜色）”“Font（字体）”“Draw Solid（设置为实心多边形）”“Show Border（设置是否显示文本框边框）”“Alignment（文本框内文字对齐的方向）”“Word Warp（设置字回绕）”“Clip To Area（当文字长度超出文本框宽度时，自动截去超出部分）”“Selection（切换选取状态）”。

如果直接单击文本框，可使其进入编辑状态，同时出现一个环绕整个文本框的虚线边框，此时可直接拖动文本框本身来改变其放置的位置。

下面对图 3-40 所示的文本框进行属性修改设置，文本修改为如图 3-42 界面中所示；字体修改为楷体 GB3212，字号为 10 号；“Alignment（文本布置）”设定为“Left”；其他不变，修改属性后的文本框如图 3-43 所示。如果文本框不能容纳所有文本，可以使用属性对话框修改 X、Y 对角坐标，或拖动文本框的控制点来调整。

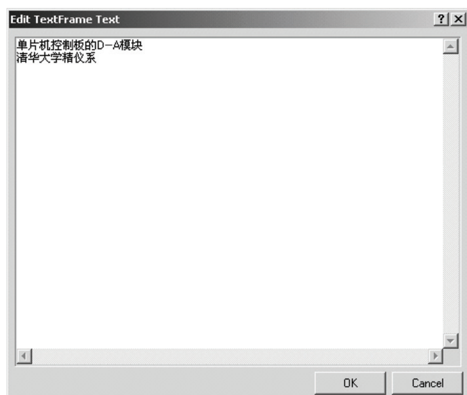


图 3-42　编辑文字界面

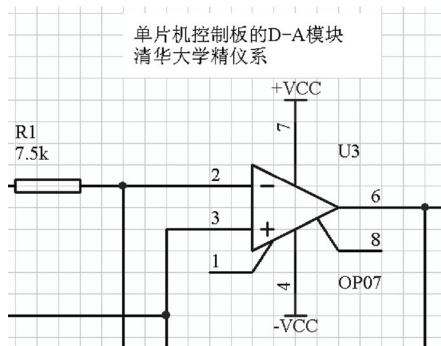


图 3-43　修改文本属性后的图形

3.2.7　绘制矩形

这里的矩形分为“Rectangle（直角矩形）”与“Round Rectangle（圆角矩形）”，它们的差别在于矩形的四个边角是否由椭圆弧线所构成。除此之外，这二者的绘制方式与属性均十分相似。

1．绘制矩形命令

绘制直角矩形可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Rectangle”命令或单击绘图工具栏上的按钮。绘制圆角矩形可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Round Rectangle”命令或单击绘图工具栏上的按钮。

2．绘制矩形

执行绘制矩形命令后，此时鼠标指针旁边会多出一个大十字符号，然后在待绘制矩形的一个角上单击，接着移动鼠标到矩形的对角，再单击即完成当前这个矩形的绘制过程，同时进入下一个绘制矩形的过程。

若要将编辑模式切换回等待命令模式，可在此时右击或按下〈Esc〉键。绘制的直角矩形和圆角矩形如图 3-44 所示。

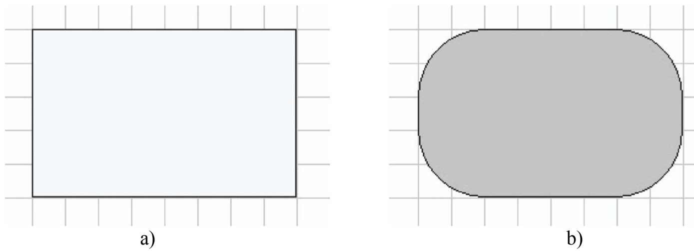


图 3-44　绘制的直角矩形和圆角矩形

a) 直角矩形　b) 圆角矩形

3．编辑修改矩形属性

在绘制矩形的过程中按下〈Tab〉键，或者双击已绘制好的矩形，就会打开如图 3-45 或图 3-46 所示的“Rectangle（矩形属性）”或“Round Rectangle（圆角矩形属性）”对话框。

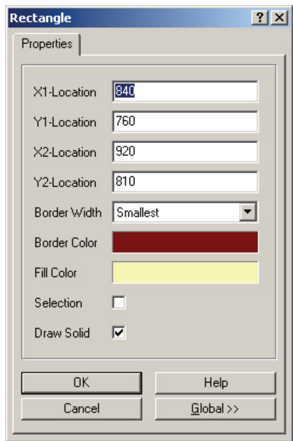


图 3-45　“Rectangle”对话框

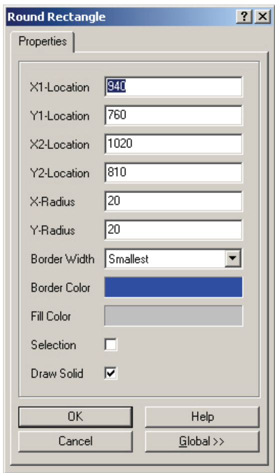


图 3-46　“Round Rectangle”对话框

其中圆角矩形比直角矩形多两个属性：“X-Radius”和“Y-Radius”，它们是圆角矩形 4 个椭圆角的 X 轴与 Y 轴半径。除此之外，直角矩形与圆角矩形共有的属性包括：“X1-Location、Y1-Location（矩形左上角坐标）”“X2-Location、Y2-Location（矩形右下角坐标）”“Border Width（边框宽度）”“Border Color（边框颜色）”“Fill Color（填充颜色）”“Selection（切换选取状态）”和“Draw Solid（设置为实心多边形）”。

如果直接单击已绘制好的矩形，可使其进入编辑状态，在此状态下可以通过移动矩形本身来调整其放置的位置。在编辑状态下，直角矩形的 4 个角和各边的中点都会出现控制点，可以通过拖动这些控制点来调整该直角矩形的形状。对于圆角矩形来说，除了上述控制点之外，在矩形的 4 个角内侧还会出现一个控制点，这是用来调整椭圆角的半径的，如图 3-47 所示。

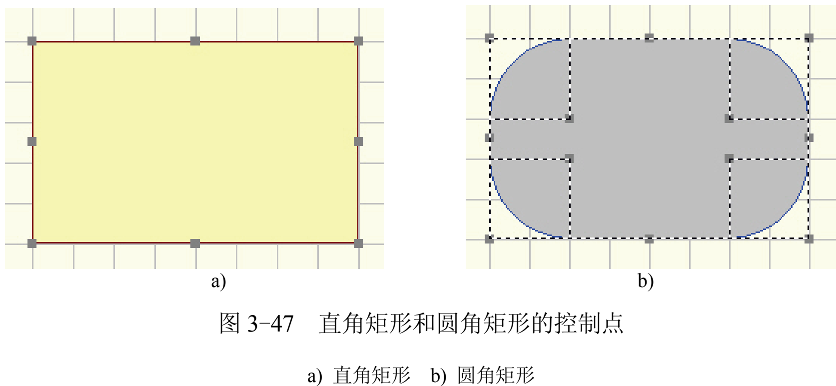


图 3-47　直角矩形和圆角矩形的控制点

a) 直角矩形　b) 圆角矩形

3.2.8　绘制圆与椭圆

1．绘制椭圆或圆命令

可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Ellipses”命令或单击绘图工具栏上的按钮 ⬭，将编辑状态切换到绘制椭圆模式。由于圆就是 X 轴与 Y 轴半径一样的椭圆，所以利用绘制椭圆的工具即可以绘制出标准的圆。

2．绘制圆与椭圆

执行绘制椭圆命令后，此时鼠标指针旁边会多出一个大十字符号，首先在待绘制图形的中心点处单击，然后移动鼠标会出现预拉椭圆形线，分别在适当的 X 轴半径处与 Y 轴半径处单击，即完成该椭圆形的绘制，同时进入下一次绘制过程。如果设置的 X 轴与 Y 轴的半径相等，则可以绘制正圆。

此时如果希望将编辑模式切换回等待命令模式，可右击或按下〈Esc〉键。绘制的图形如图 3-48 所示。

3．编辑图形属性

如果在绘制椭圆形的过程中按下〈Tab〉键，或是双击已绘制好的椭圆形，即可打开如图 3-49 所示的“Ellipse（椭圆属性）”对话框，可以在此对话框中设置该椭圆形的一些属性，如“X-Location、Y-Location（椭圆形的中心点坐标）”“X-Radius 和 Y-Radius（椭圆的 X 轴与 Y 轴半径）”“Border Width（边框宽度）”“Border Color（边框颜色）”“Fill Color（填充颜色）”“Draw Solid（设置为实心多边形）”“Selection（切换选取状态）”。

如果想将一个椭圆改变为标准圆，可以修改“X-Radius”和“Y-Radius”文本框中的数值，使之相等即可。

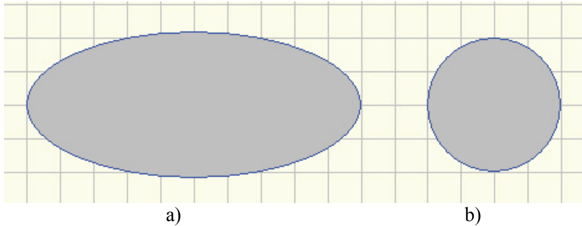

a)　　　　　　　　b)

图 3-48　绘制的椭圆和圆

a) 椭圆　b) 圆

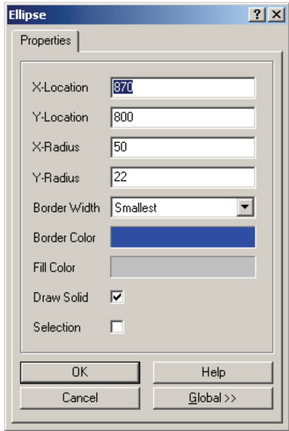


图 3-49　“Ellipse”对话框

3.2.9　绘制饼图

1．绘制饼图命令

所谓饼图（Pie Charts）就是有缺口的圆形。若要绘制饼图，可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Pie Charts”命令或单击绘图工具栏上的按钮，将编辑模式切换到绘制饼图模式。

2．绘制饼图

执行绘制饼图命令后，此时鼠标指针旁边会多出一个饼图形，首先，在待绘制图形的中心处单击，然后移动鼠标会出现饼图预拉线。调整好饼图半径后单击，鼠标指针会自动移到饼图缺口的一端，调整好其位置后单击，鼠标指针会自动移到饼图缺口的另一端，调整好其位置后再单击，即可结束该饼图的绘制，同时进入下一个饼图的绘制流程。此时如果右击或按下〈Esc〉键，可将编辑模式切换回待命模式。绘制的饼图如图 3-50 所示。

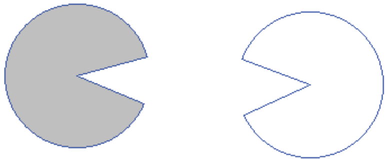


图 3-50　绘制的饼图

3．编辑饼图

如果在绘制饼图过程中按下〈Tab〉键，或者直接双击已绘制好的饼图，可打开如图 3-51 所示的“Pie Chart（饼图属性）”对话框。在该对话框中可设置如下属性：“X-Location，Y-Location（中心点的 X 轴、Y 轴坐标）”“Radius（半径）”“Border Width（边框宽度）”“Start Angle（缺口起始角度）”“End Angle（缺口结束角度）”“Border Color（边框颜色）”“Fill Color（填充颜色）”“Draw Solid（设置为实心饼图）”“Selection（切换选取状态）”。

如果直接单击已绘制好的饼图，可使其进入编辑状态，此时可拖动饼图以调整其位置。在选中状态下，饼图的半径及其缺口的两端都会出现控制点，分别拖动这些控制点可以调整饼图的形状，如图 3-52 所示。

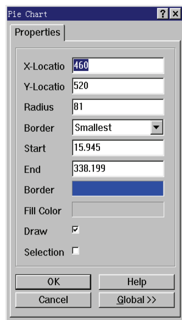


图 3-51 “Pie Chart”对话框

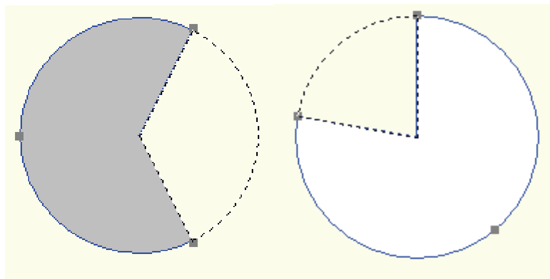


图 3-52 调整形状

3.2.10 插入图片

1．执行插入图片的命令

如果希望在绘图页内插入图像文件，可选择“Place”→“Drawing Tools”→“Graphic”命令或单击绘图工具栏上的按钮。

2．插入图片

执行此命令后，将打开如图 3-53 所示的“Image File（图片文件）”对话框。可以在“查找范围”栏中指定图片所在的文件夹，在“文件类型”栏中指定图片的格式，然后在文件列表中选定相应的图像文件名，单击“打开”按钮即可插入图片。图片插入完毕后，系统会返回“Image File”对话框，进入下一次操作流程。插入的图片如图 3-54 所示。

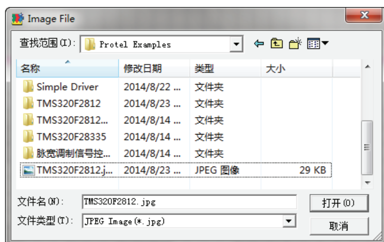


图 3-53 “Image File”对话框



图 3-54 插入的图片

3．编辑图片

如果直接双击已插入的图片，或在插入图片的过程中按〈Tab〉键，可打开如图 3-55 所示的“Graphic（图片属性）”对话框。该对话框中包括如下选项：“File Name（图片的文件名，包括其所在路径）”“X1-Location，Y1-Location（矩形左上角坐标）”“X2-Location、Y2-Location（矩形右下角坐标）”“Border Width（边框宽度）”“Border Color（边框颜色）”“Selection（切换选取状态）”“Border On（设置显示边框）”“X：Y Ratio 1：1（保持 X 轴与 Y 轴比例）”。单击“File Name”栏右边的“Browse”按钮，可打开一个与“Image File”对话框很相似的“打开文件”对话框，可以在此重新指定显示图片所对应的文件。

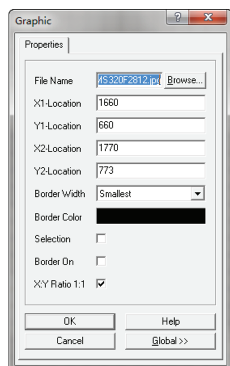


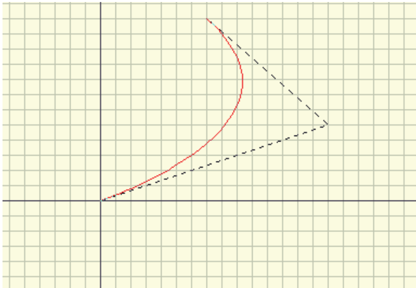
图 3-55 “Graphic”对话框

如果直接单击已放置好的图片，可使其进入编辑状态，此时就可以拖动图片本身来调整其位置。在选中状态下，图片的 4 个角及 4 个边的中心点处都会出现控制点，用鼠标拖动这些控制点可以调整图片的形状。

3.2.11　绘制 Bezier 曲线

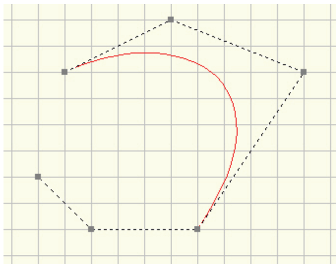
Bezier 曲线的绘制可以选择“Place”→“Drawing Tools”→“Beziers”命令或单击绘图工具栏上的按钮来激活。

当激活该命令后，将在鼠标边上出现一个大“十”字，此时可以在图纸上绘制曲线，当确定第一点后，系统会要求确定第二点，确定的点数大于或等于 2，就可以生成曲线，当只有两点时，就生成了一直线。确定了第二点后，可以继续确定第三点，一直可以延续下去，直到用户右击结束。绘制 Bezier 曲线的过程如图 3-56 所示。


图 3-56　绘制 Bezier 曲线示意图

如果选中 Bezier 曲线，则会显示绘制曲线时生成的控制点，如图 3-57 所示，这些控制点其实就是绘制曲线时确定的点。

如果想编辑曲线的属性，则可以双击曲线，或选中曲线后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，就可以进入“Bezier（曲线属性）”对话框，如图 3-58 所示。


图 3-57　Bezier 曲线控制点

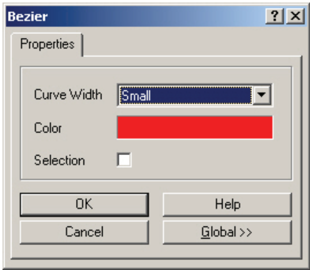


图 3-58　“Bezier”对话框

3.3　编辑与添加元器件

当设计绘制电路原理图时，常常需要建立新的元器件及元器件库。Protel 99 SE 提供了一个功能强大而完整的建立元器件的工具，即 Library Editor（元器件库编辑器）。下面讲解如何使用元器件库编辑器来生成元器件和建立元器件库。

3.3.1　元器件库编辑器

制作元器件和建立元器件库是使用 Protel 99 SE 的元器件库编辑器来进行的，在进行元器件制作讲解前，先熟悉一下元器件库编辑器。

1．加载元器件库编辑器

原理图元器件库编辑器的启动方法如下。

1）首先在当前设计管理器环境下，选择“File”→“New”命令，系统将显示“New Document”对话框，如图 3-59 所示。

2）然后从对话框中选择 Schematic Library Document（原理图元器件库编辑器），如图 3-59 所示。

3）单击“OK”按钮，系统便在当前设计管理器中创建了一个新元器件库文档，此时用户可以修改文档名。进入原理图元器件库编辑工作界面，如图 3-60 所示。

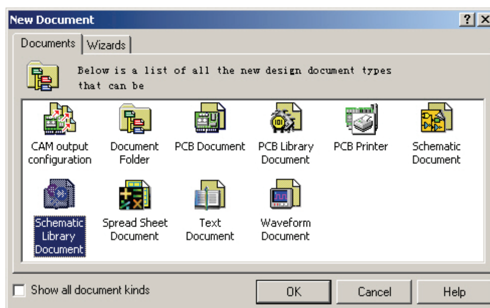


图 3-59 “New Document”对话框

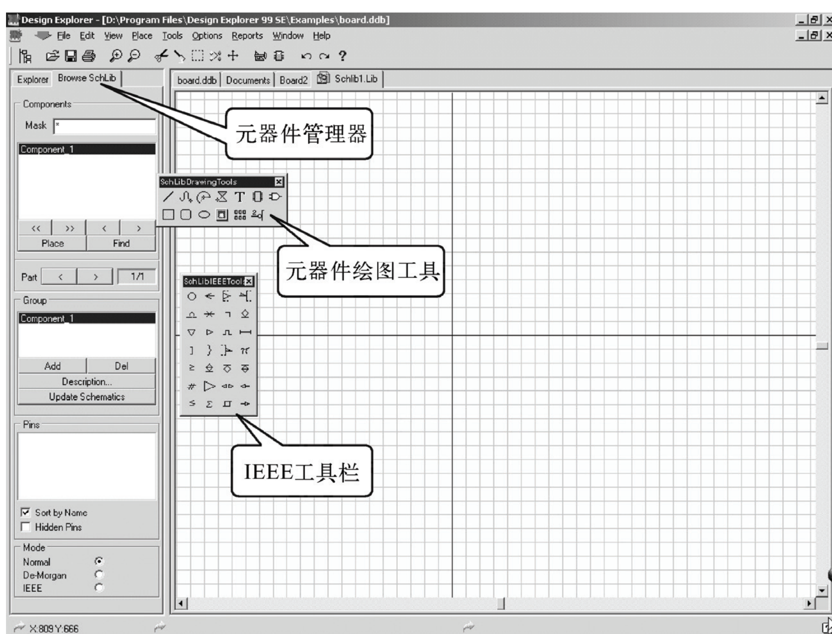


图 3-60 元器件库编辑器界面

2．元器件库编辑器界面简介

元器件库编辑编辑器与原理图设计编辑器界面相似。主要有元器件管理器、主工具栏、菜单、常用工具栏、编辑区等组成。不同的是在编辑区有一个十字形坐标轴，将元器件编辑区划分为四个象限。象限的定义和数学上的定义相同，即右上角为第一象限，左上角为第二象限，左下角为第三象限，右下角为第四象限，一般在第四象限进行元器件的编辑工作。

除了主工具栏以外，元器件库编辑器提供了两个重要的工具栏，即图形绘制工具栏和 IEEE 符号工具栏，如图 3-60 所示，后面将会介绍。

3.3.2　元器件库的管理

在讲述如何制作元器件和创建元器件库前，先了解元器件管理工具的使用，以便有效管理后面创建的新元器件。下面主要介绍元器件库编辑器左边的元器件管理器的组成和使用方法，同时还将介绍其他的一些相关命令。

1．元器件管理器

单击如图 3-60 所示的元器件管理器的“Browse Schlib”选项卡，就可以看到元器件管理器，如图 3-61 所示。元器件管理器有 4 个选项组：“Components（元器件）”选项组“Group（组）”选项组“Pins（引脚）”选项组“Mode（模式）”选项组。

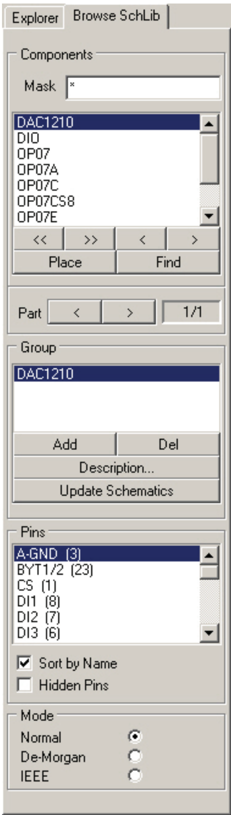


图 3-61　元器件管理器

1）“Components”选项组：查找、选择及取用元器件。当打开一个元器件库时，元器件材料表就会罗列出本元器件库内所有元器件的名称。要取用元器件，只要将光标移动到该元器件名称上，然后单击“Place”按钮即可。如果直接双击某个元器件名称，也可以取出该元器件。

- “Mask”：用于筛选元器件。

元器件名显示区位于“Mask”设置项的下方，它的功能是显示元器件库里的元器件名。

- “<<”按钮：选择元器件库中的第一个元器件。
- “>>”按钮：选择元器件库中的最后一个元器件。
- “<”按钮：选择前一个元器件。
- “>”按钮：选择下一个元器件。
- “Place”按钮：将所选元器件放置到电路图中。单击该按钮后，系统自动切换到原理图设计界面，同时原理图元器件编辑编辑器退到后台运行。
- “Find”按钮：搜索元器件库。单击该按钮后系统将启动元器件搜索工具，搜索已经存在的元器件或元器件库，后面将进行讲解。
- “Part”是针对复合封装元器件而设计的。“Part”右边有一个状态栏，显示当前的器件号。

2）“Group”选项组：查找、选择及取用元器件集。所谓元器件集就是共用元器件符号的元器件，例如 74xx 的元器件集有 74LSxx、74Fxx、74HCxx 等，它们都是非门元器件，引脚名称与编号都一致，所以可以共用元器件符号，以节省元器件库的空间。

- “Add”按钮：添加元器件组，将指定的元器件名称归入该元器件库。单击该按钮后，会出现如图 3-62 所示的“New Component Name（添加元器件组）”对话框。输入指定的元器件名称，单击“OK”按钮即可将指定元器件添加进元器件组。
- “Del”按钮：用于将元器件组的显示区内指定的元器件从该元器件组里删除。

● “Description”按钮：单击此按钮，将弹出“Component Text Fields”对话框，如图 3-63 所示。这个对话框共有“Designator”“Library Fields”和“Part Field Names”3 个选项卡。

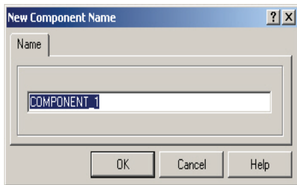


图 3-62 “New Component Name”对话框

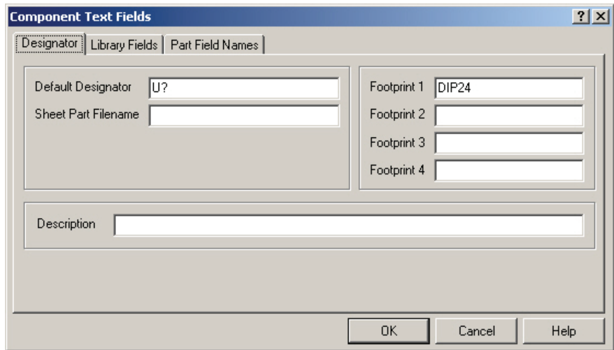


图 3-63 “Component Text Fields”对话框

“Designator”选项卡包括如下选项：Default Designator（默认的流水序号，如 U?），Sheet Part Filename（如果该元器件是绘图页元器件，则在此处设置对应子绘图页的路径及文件名），Description（元器件描述，通常是关于本元器件功能的简要说明），Footprint（元器件封装形式，共有 4 栏）。

“Library Fields”选项卡如图 3-64 所示，共有 8 个“Text Field”文本框，用户可根据需要进行设置，它将来会显示在“元器件属性”对话框中，但不能在原理图中修改。每个数据域最多能够容纳 255 个字符。

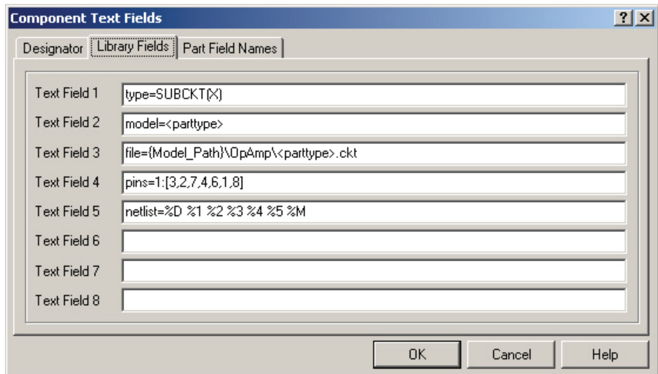


图 3-64 “Library Fields”选项卡

“Part Field Names”选项卡如图 3-65 所示，一共有 16 个“Part Field Name”文本框，用户可根据需要进行设置，比如输入元器件制造商和产品目录数。每个数据域最多能够容纳 255 个字符。当在绘制原理图中使用该元器件时，可以看到这些数据内容，用户可以对其进行修改。

● “Update Schematics”按钮：更新电路图中有关该元器件的部分。单击该按钮，系统将该元器件在元器件编辑器所做的修改反映到原理图中。

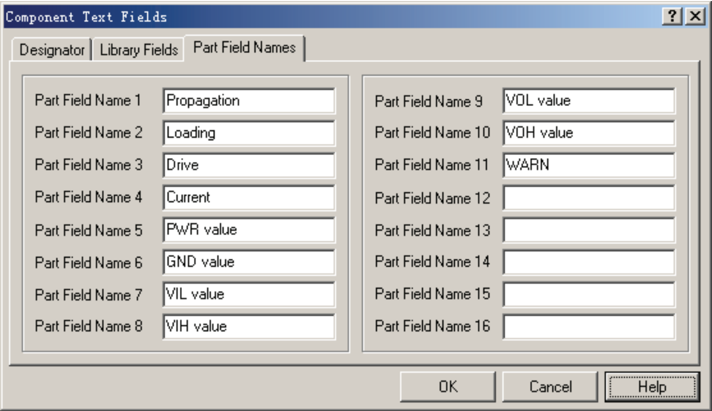


图 3-65 “Part Field Names”选项卡

3）“Pins”选项组：将当前工作中元器件引脚的名称及状态列于引脚列表中，引脚区域用于显示引脚信息。

- “Sort by Name”复选框：指定按名称排列。
- “Hidden Pins”复选框：设置是否在元器件图中显示隐含引脚。

4）“Mode”选项组：指定元器件的模式，包括“Normal”“De-Morgan”和“IEEE”3种模式。

2. 利用“Tools”菜单管理元器件

元器件管理器的功能也可以通过“Tools”菜单命令来实现，“Tools”菜单如图 3-66 所示，各项命令说明如下。

1）“New Component”：添加元器件。

2）“Remove Component”：删除元器件管理器的“Component”选项组中指定的元器件。

3）“Rename Component”：修改元器件管理器的“Component”选项组中的指定元器件的名称。

4）“Remove Component Name”：删除元器件组里指定的元器件名称。如果该元器件仅有一个元器件名称的话，连元器件图也会被删除。此命令相当于单击“Group”选项组的“Del”按钮。

5）“Add Component Name”：往元器件组里添加元器件名称。此命令相当于单击“Group”选项组的“Add”按钮。

6）“Copy Component”：将该元器件复制到指定的元器件库中。单击此命令后，会弹出对话框。选择元器件库后按“OK”按钮即可将该元器件复制到指定的元器件库中。

7）“Move Component”：将该元器件移到指定的元器件库中。单击此命令后，会出现对话框。选择元器件库后按“OK”按钮即可将该元器件移到指定的元器件库中。

8）“New Part”：在复合封装元器件中新增元器件。



图 3-66 “Tools”菜单项

9）“Remove Part”：删除复合封装元器件中的元器件。

10）“Next Part”：切换到复合封装元器件中的下一个元器件。相当于“Component”选项组中 Part 右边的“<”按钮。

11）“Prev Part”：切换到复合封装元器件中的前一个元器件。相当于“Component”选项组中 Part 右边的“>”按钮。

12）“Next Component”：切换到元器件中的下一个元器件。相当于“Component”选项组中 Part 右边的“<”按钮。

13）“Prev Component”：切换到元器件中的前一个元器件。相当于“Component”选项组中 Part 右边的“>”按钮。

14）“First Component”：切换到元器件库中的第一个元器件，相当于“Component”选项组中“<<”按钮。

15）“Last Component”：切换到元器件库中的最后一个元器件，相当于“Component”选项组中“>>”按钮。

16）“Show Normal”：相当于“Mode”选项组中的“Normal”单选按钮。

17）“Show Demorgan”：相当于“Mode”选项组中的“De-morgan”单选按钮。

18）“Show IEEE”：相当于“Mode”选项组中的“IEEE”单选按钮。

19）“Find Component”：相当于“Component”选项组中的“Find”按钮。

20）“Description”：启动元器件描述对话框，相当于“Group”选项组中的“Description”按钮。

21）“Remove Duplicates”：删除元器件库中重复的元器件名。

22）“Update Schematics”：将元器件库编辑器中所做的修改，更新到打开的原理图中，相当于“Group”选项组中的“Update Schematics”按钮。

3．查找元器件

元器件管理器为用户提供了查找元器件的工具。在元器件管理器中，单击“Find”按钮，系统将弹出如图 3-67 所示的“Find Schematic Component（查找元器件）”对话框，在该对话框中，可以设定查找对象，以及查找范围，可以查找的对象为包含在*.ddb 和*.lib 文件中的元器件。该对话框的操作使用方法如下。

1）“Find Component”选项组：用来设定查找的对象，可以在选择“By Library Reference”复选框后，再在其文本框中输入搜索的元器件名。也可以选择“By Description”复选框，然后在其文本框中输入日期、时间或元器件大小等描述对象，系统将会搜索出所有符合对象描述的元器件。

2）“Search”选项组：用来设定搜索方位，查找元器件时可以根据情况设定查找的路径、目录和文件扩展名等。如果单击“Path”右侧的按钮...，则系统会弹出如图 3-68 所示的“浏览文件夹”对话框，可以设置搜索路径。

3）“Found Libraries”选项组：在描述列表框中将显示所搜索到元器件所属的元器件库，如果单击“Add To Library List”按钮，则将选中的元器件库加到当前元器件库管理器中。单击“Edit”按钮则对选中的元器件进行编辑。单击“Place”按钮则自动切换到原理图设计界面，同时原理图元器件编辑器退到后台运行。

如果需要停止搜索，则可以单击“Stop”按钮。

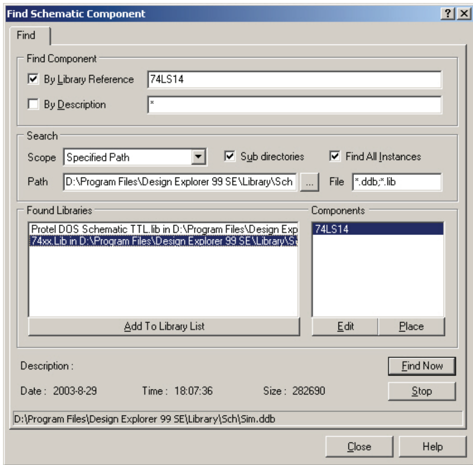


图 3-67 “Find Schematic Component”对话框

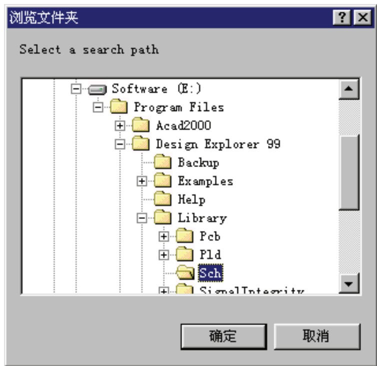


图 3-68 “浏览文件夹”对话框

3.3.3 元器件绘图工具

前面讲述了元器件库管理器的使用，现在讲解如何制作元器件。制作元器件可以利用绘图工具来进行，常用的绘图工具包括一般绘图工具栏和 IEEE 符号工具栏。

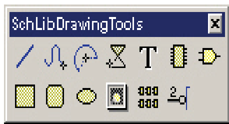


图 3-69 绘图工具栏

1．一般绘图工具

图 3-69 为元器件库编辑系统中的一般绘图工具栏。绘图工具栏的打开与关闭可以通过单击主工具栏上的按钮或选择“View”→“Toolbars”→“Drawing Toolbar”命令来实现。

绘图工具栏上的命令也对应“Place”菜单上的各命令，也可以从“Place”菜单上直接选取命令。工具栏上各按钮的功能见表 3-2。

表 3-2 一般绘图工具栏按钮功能

按 钮	对应菜单命令	功 能
	Place→Line	绘制直线
	Place→Beziers	绘制贝塞尔曲线
	Place→Elliptical Arcs	绘制椭圆弧线
	Place→Polygons	绘制多边形
	Place→Text	插入文字
	Tools→New Component	插入新部件
		添加新部件至当前显示的元器件
	Place→Rectangle	绘制直角矩形
	Place→Round Rectangle	绘制圆角矩形
	Place→Ellipses	绘制椭圆形及圆形
	Place→Graphic	插入图片
	Edit→Paste Array	将剪贴板的内容阵列粘贴
	Place→Pins	绘制引脚

这些命令中大部分与 3.2 节介绍的绘图工具栏操作一致，这里将讲述前面没有讲过的命令和不同的命令。下面仅对绘制引脚命令进行实例讲解。

2．绘制引脚

选择“Place”→“Pins”命令或单击一般绘图工具栏上的按钮，可将编辑模式切换到放置引脚模式，此时鼠标指针旁边会多出一个大“十”字符号及一条短线，这时就可以进行引脚的绘制工作。如果在放置引脚前按〈Tab〉键，则会打开“Pin（引脚属性）”对话框，此时可以先设置引脚属性。放置完毕引脚后，右击结束操作，图 3-70 即为绘制的引脚实例，引脚在元器件图上放置是按顺序增加流水号的。

如果需要编辑放置的引脚，则可以双击需要编辑的引脚，或者先选中引脚，然后右击并从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，就可以进入“Pin”对话框，如图 3-71 所示。

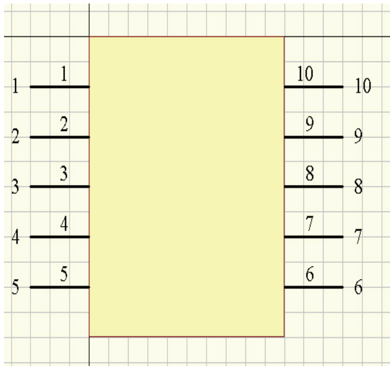


图 3-70　绘图引脚

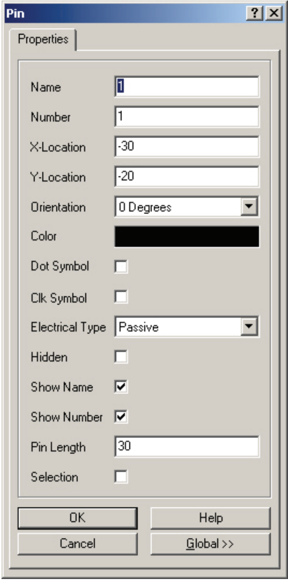


图 3-71　“Pin”对话框

“Pin”对话框的各编辑框的意义如下。

- “Name”文本框：引脚名，是引脚左边的一个符号，用户可以进行修改。
- “Number”文本框：引脚号，是引脚右边的一个符号，用户也可以进行修改。
- “X-Location”文本框：引脚 X 向位置。
- “Y-Location”文本框：引脚 Y 向位置。
- “Orientation”下拉列表：引脚方向选择，有 0°、90°、180°和 270°四种旋转角度。
- “Color”选项：引脚颜色设定。
- “Dot Symbol”复选框：是否在引脚上加一圆点。
- “Clk Symbol”复选框：是否在引脚上加一个时钟符号。
- “Electrical Type”下拉列表：用来设定该引脚的电气性质。
- “Hidden”复选框：是否隐藏该引脚。

- “Show Name”复选框：是否显示引脚名。选中为显示，否则为不显示。
- “Show Number”复选框：是否显示引脚号。选中为显示，否则为不显示。
- “Pin Length”文本框：设置引脚的长度。
- “Selection”：确定是否选中该引脚。
- “Global”按钮：单击此按钮，可进入全局属性对话框，如图 3-72 所示。

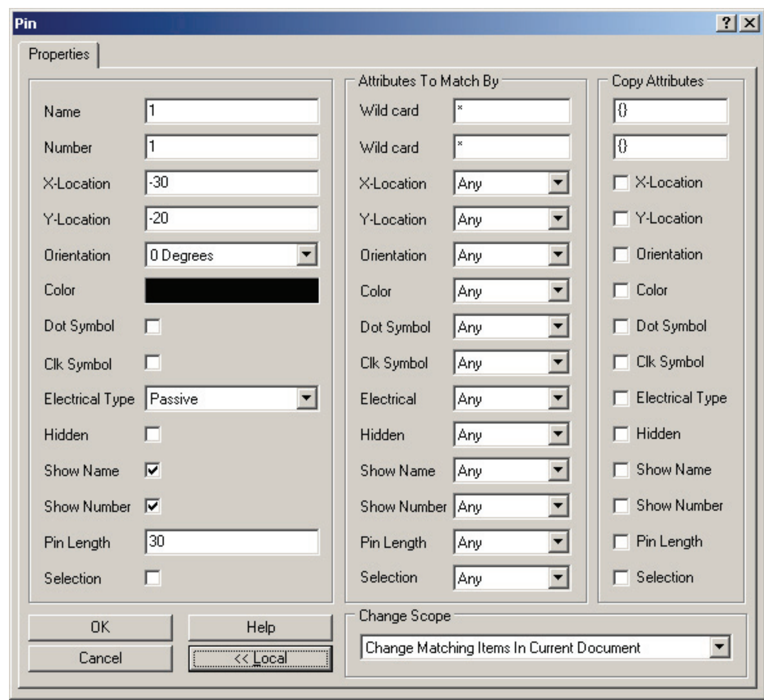


图 3-72　引脚全局属性对话框

在“Attributes To Match By”选项组中的“Wild Card”文本框，输入“*”表示不管电路图中其他的引脚名或引脚号是什么，都符合整体修改条件。也可以指定某个特定网络名称，表示整个电路图中所有同名的网络名称都符合整体修改条件。

“Copy Attributes”选项组中，“{}”用以指定如何修改。例如，要将已放置在引脚图中的 N1、N2、N3…引脚名称或引脚号更改为 D1、D2、D3…，那么在“Wild Card”文本框中输入“N*”，在“Copy Attributes”选项组中输入“{N=D}”，最后单击“OK”按钮，即可完成网络名称的整体修改。

3．IEEE 符号

图 3-73 为元器件库编辑系统中的 IEEE 符号工具栏。IEEE 符号工具栏的打开与关闭可以通过选取主工具栏里的按钮或选择“View”→“Toolbars”→“IEEE Toolbar”命令来实现。

IEEE 符号工具栏上的命令也对应“Place”菜单上“IEEE Symbols”子菜单上的各命令，也可以从“Place”菜单上直接选取命令。工具栏上各按钮的功能如表 3-3 所示。



图 3-73　IEEE 符号工具栏

表 3-3　放置 IEEE 符号工具栏各项功能

按　　钮	功　　能
	放置低态触发符号
	放置左向信号
	放置上升沿触发时钟脉冲
	放置低态触发输入符号
	放置模拟信号输入符号
	放置无逻辑性连接符号
	放置具有暂缓性输出的符号
	放置具有开集性输出的符号
	放置高阻抗状态符号
	放置高输出电流符号
	放置脉冲符号
	放置延时符号
	放置多条 I/O 线组合符号
	放置二进制组合符号
	放置低态触发输出符号
	放置π符号
	放置大于等于号（≥）
	放置具有提高阻抗的开集性输出符号
	放置开射极输出符号
	放置具有电阻接地的开射极输出符号
	放置数字输入信号
	放置反相器符号
	放置双向信号
	放置数据左移符号
	放置小于等于号（≤）
	放置Σ符号
	放置施密特触发输入特性的符号
	放置数据右移符号

3.3.4　制作元器件实例

1．制作带施密特触发器的六反相器

现在利用前面介绍的制作工具，来绘制一个元器件。绘制的实例为图 3-74 所示的带施密特触发器的六反相器，并将它保存在“74LSxx.lib”元器件库中，具体操作步骤如下。

1）选择“File”→“New”命令，从编辑器选择框中选中原理图元器件库编辑器，然后双击元器件库文件图标，默认名为“schlib1.lib”，可以重新保存为“74LSxx.lib”，或者重命名为“74LSxx.lib”。然后进入原理图元器件库编辑工作界面。

2）选择“View”→“Zoom In”命令或按〈Page Up〉键将元器件绘图页的四个象限相交点处放大到足够程度，因为一般元器件均是放置在第四象限，而象限交点即为元器件基准点。

3）选择“Options”→“Document Options”命令，在弹出的对话框中设置捕捉间距，即在“Grids”选项处设置“Snap”的捕捉间距为 5，可视为 10。

4）选择“Place”→“Line”命令或单击一般绘图工具栏上的按钮⁄来绘制三角形，将编辑状态切换到画直线模式。此时鼠标指针旁边会多出一个大“十”字符号，将大十字指针中心移动到坐标轴点（0，-15）单击，把它定为直线的下端；移动鼠标指针到直线的上端坐标点（0，15）再单击，此时绘制了一条垂直的直线。接着把鼠标移动到坐标（30，0）处并单击，就绘制了第二条直线；继续移动鼠标到坐标点（0，-15）处并单击，此时就完成了一个三角形的绘制。然后右击，结束三角形的绘制，绘制的三角形如图 3-75 所示。

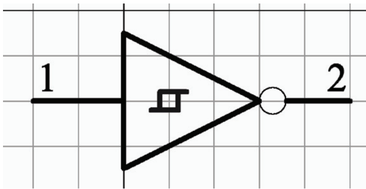


图 3-74　带施密特触发器的六反相器

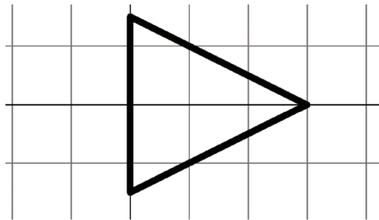


图 3-75　绘制的三角形

技巧：坐标值可以从状态栏观测到，所以设置了捕捉间距后很容易捕捉到精确的坐标点位置。

5）接下来绘制元器件的引脚。选择“Place”→“Pins”命令或单击一般绘图工具栏上的按钮，可将编辑模式切换到放置引脚模式，此时鼠标指针旁边会多出一个大十字符号及一条短线，此时按〈Tab〉键进入“Pin”对话框，如图 3-76 所示。将“Pin Length（引脚长度）”修改为 20。接着分别绘制 2 个引脚。放置引脚时按〈Space〉键可使引脚旋转 90°。

注意：放置引脚时，基准点是出现在图形界面中一个大十字，将大十字对准需要放置引脚的坐标位置，就可以完成一条引脚的放置。

6）接着编辑各引脚。双击需要编辑的引脚，或者先选中引脚，然后右击，从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，打开“Pin（引脚属性）”对话框，如图 3-76 所示。在对话框中对引脚进行属性修改，具体修改方式如下。

- 引脚 1　“Name”修改为 A，不选“Dot Symbol”复选框，选中“Show Number”复选框，不选“Show Name”复选框，在“Orientation”下拉列表框中选择“180°”，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Input”，坐标为（0，0）。
- 引脚 2　“Name”修改为 Y，选中“Dot Symbol”复选框，选中“Show Number”复选框，不选“Show Name”复选框，在“Orientation”下拉列表框中选择“0°”，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Output”，坐标为（30，0）。

如图 3-77 所示即为放置了两引脚并编辑属性后的图形。

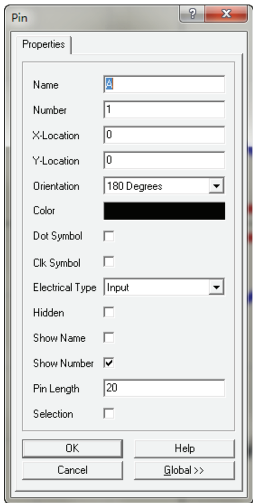


图 3-76 “Pin”对话框

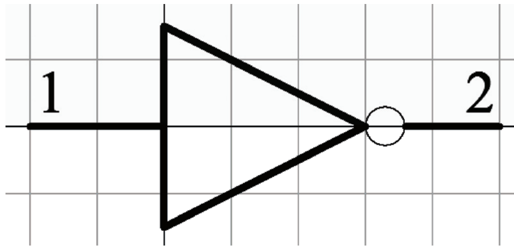


图 3-77 放置引脚后的图形

说明：当放置引脚时，可以直接旋转到需要的角度，因为引脚 0° 时的电气端为左侧，所以需要旋转设置。

7）放置 IEEE 符号，即施密特触发器符号。选择“Place”→“IEEE Symbols”→“Schmitt”命令，然后将施密特触发器符号放置在三角形内部。双击放置的施密特触发器符号，设置其位置、大小和线型，如图 3-78 所示。放置施密特触发器符号后的图形如图 3-79 所示。

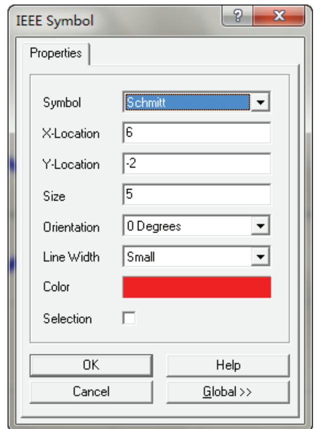


图 3-78 “IEEE Symbol”对话框

8）绘制隐藏的引脚，通常在电路图中会把电源引脚隐藏起来。所以绘制电源引脚时，需要将其属性设置为“Hidden”（在元器件属性对话框中设置）。本实例分别绘制两个电源引脚：14 为 VCC，7 为接地 GND，引脚的电气类型均为“Power”。绘制了这两个引脚后的图形如图 3-80 所示（此处选中如图 3-61 所示的“Hidden Pins”复选框，就可以显示隐藏的引脚和名称）。

- 引脚 14 “Name”为“VCC”，不选“Dot Symbol”复选框，选中“Hidden”复选框（将电源引脚隐藏），选中“Show Number”复选框，不选“Show Name”复选框，在“Orientation”下拉列表框中选择“180°”，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Power”，坐标为（0，-30）。
- 引脚 7 “Name”修改为“GND”，不选“Dot Symbol”复选框，选中“Hidden”复选框（将电源引脚隐藏），选中“Show Number”复选框，不选“Show Name”复选框，在“Orientation”下拉列表框中选择 0°，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Power”，坐标为（30，-20）。

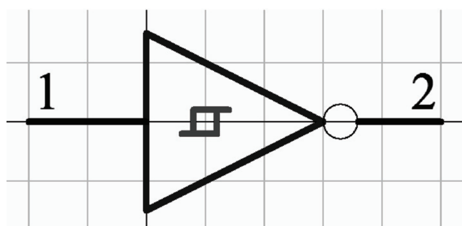


图 3-79　放置施密特触发器符号的图形

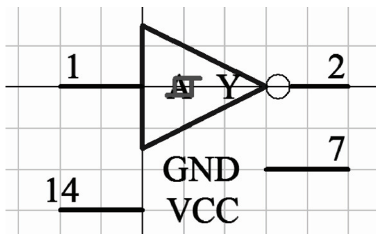


图 3-80　放置隐藏的电源引脚后的图形

如果不选中如图 3-61 所示的“Hidden Pins”复选框，就会隐藏所有隐藏属性引脚和名称，则显示的图形和图 3-79 一样。

9）如果该元器件是复合封装的，则可以选择“Tools”→“New Part”命令，即可向该元器件中添加绘制封装的其他子部分，过程与上面一致，不过电源通常是共用的。如图 3-81 所示为其他 5 个反相器的图形。

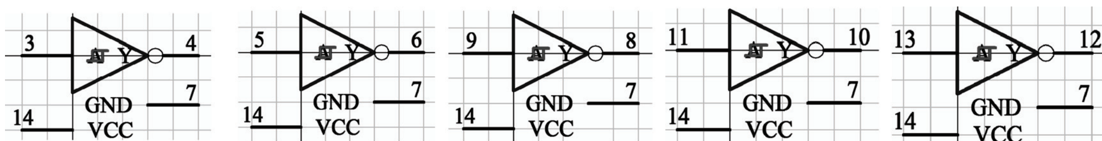


图 3-81　其他 5 个反相器

如果不选中如图 3-61 所示的“Hidden Pins”复选按钮，就会隐藏所有隐藏属性引脚和名称，则另外 5 个反相器显示的图形如图 3-82 所示。

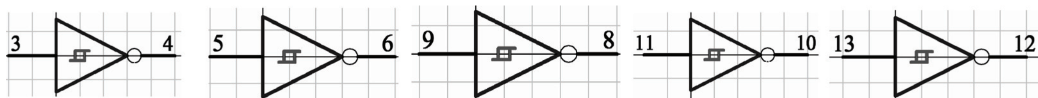


图 3-82　隐藏了隐藏属性的 5 个反相器图形

10）保存已绘制好的元器件。选择“Tools”→“Rename Component”命令，打开“New Component Name（修改元器件名称）”对话框，如图 3-83 所示，将元器件名称改为“74LS14D”。然后选择“File”→“Save”命令将元器件保存到当前元器件库文件中。

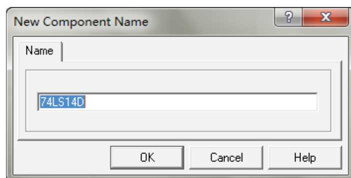


图 3-83　“New Component Name”对话框

当执行完上述操作后，现在可以查看以下元器件库管理器，如图 3-84 所示。该管理器中已经添加了一个“74LS14D”的元器件，该元器件位于“74LSxx.lib”中，而“74LSxx.lib”属于“Control.ddb”数据库文件，因为绘制该元器件是在打开的“Control.ddb”数据库文件中进行的。

11）最后还需要设置一下元器件的描述特性，在元器件管理器中选中该元器件，然后单击“Description”按钮，系统将弹出如图 3-85 所示的“Component Text Fields（元器件文本域设置）”对话框。此时可以设置默认流水号，元器件封装形式，以及其他相关的描述。

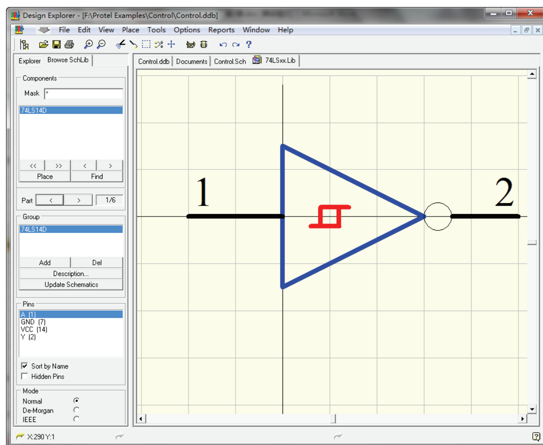


图 3-84　添加了元器件 74LS14D 后的元器件库管理器

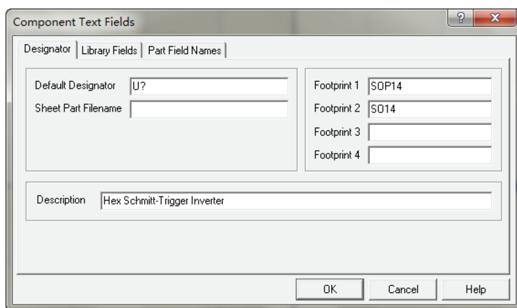


图 3-85　“Component Text Fields”对话框

如果想在原理图设计时使用此元器件，只需将该库文件装载到元器件库中，取用元器件“74LS14D”即可。另外，要在现有的元器件库中加入新设计的元器件，只要进入元器件库编辑器，选择现有的元器件库文件，再选择“Tools”→“New Component”命令，然后就可以按照上面的步骤设计新的元器件。

2．制作一个 D 型触发器

现在利用前面介绍的制作工具，来绘制一个元器件。绘制的实例为图 3-86 所示的触发器，并将它保存在“74LSxx.lib”元器件库中，具体操作步骤如下。

1）选择“File”→“New”命令，从编辑器选择框中选中原理图元器件库编辑器，然后双击元器件库文件图标，默认名为“schlib1.lib”，可以重新保存为“74LSxx.lib”，或者重命名为“74LSxx.lib”。操作如上一个实例。然后进入原理图元器件库编辑工作界面。

2）选择“View”→“Zoom In”命令或按〈Page Up〉键将元器件绘图页的四个象限相交点处放大到足够程度，因为一般元器件均是放置在第四象限，而象限交点即为元器件基准点。

3）选择“Place”→“Rectangle”命令或单击一般绘图工具栏上的按钮来绘制一个直角矩形，将编辑状态切换到画直角矩形模式。此时鼠标指针旁边会多出一个大“十”字符号，将大十字指针中心移动到坐标轴原点处（0，0）单击，把它定为直角矩形的左上角；移动鼠标指针到矩形的右下角，再单击，就会结束这个矩形的绘制过程，直角矩形的大小为 6 格×6 格，如图 3-87 所示。

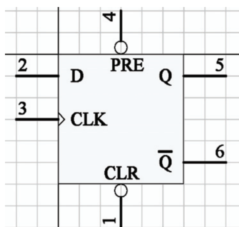


图 3-86　触发器实例

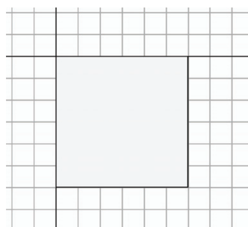


图 3-87　绘制的矩形

4）接下来绘制元器件的引脚。选择“Place”→“Pins”命令或单击一般绘图工具栏上

的按钮，可将编辑模式切换到放置引脚模式，此时鼠标指针旁边会多出一个大“十”字符号及一条短线，此时按〈Tab〉键进入“Pin”对话框，将“Pin Length（引脚长度）”修改为20。

5）接着分别绘制 6 个引脚，如图 3-88 所示。放置引脚时可以按〈Space〉键使引脚旋转 90°，使大十字处于与矩形边框上。

注意：放置引脚时，基准点是出现在图形界面中的一个大十字，将大十字对准需要放置引脚的矩形边框，就可以完成一条引脚的放置。

6）接着编辑各引脚，双击需要编辑的引脚，或者先选中引脚，然后右击，从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，进入“Pin”对话框，如图 3-76 所示。在对话框中对引脚进行属性修改，具体修改方式如下。

- 引脚 1 “Name”修改为“C\L\R\”，并选中“Dot Symbol”复选框，“Show Name”复选框不选中（因为引脚名一般是水平布置的，而旋转后名称也旋转了），在“Orientation”下拉列表框中选择“270°”，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Input”。
- 引脚 2 “Name”修改为“D”，在“Orientation”下拉列表框中选择 180º，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Input”。
- 引脚 3 “Name”修改为“CLK”，选中“CLK”复选框，在“Orientation”下拉列表框中选择 180°，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Input”。
- 引脚 4 “Name”修改为“P\R\E\”，选中“Dot Symbol”复选框，在“Orientation”下拉列表框中选择 90°，“Show Name”复选框不选中（因为引脚名一般是水平布置的，而旋转后名称也旋转了），在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Input”。
- 引脚 5 “Name”修改为“Q”，在“Orientation”下拉列表框中选择 0°，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Output”。
- 引脚 6 “Name”修改为“Q\”，在图形中显示的即为$\overline{Q}$，在“Electrical Type”下拉列表框中选择 0°，在“Electrical Type”下拉列表框中选择“Output”。

引脚属性修改后的图形如图 3-89 所示。

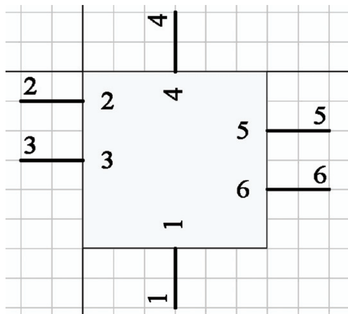


图 3-88 放置引脚后的图形

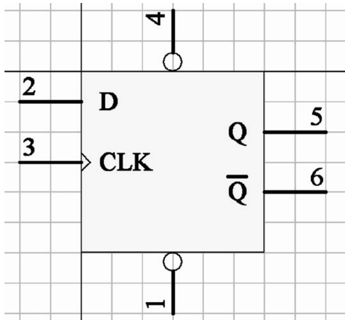


图 3-89 修改引脚属性后的图形

注意：当用户需要输入字母上带一横的字符时，可以使用“*\”来实现，本例中引脚 6 的 Name 编辑框中输入“Q\”，在图形中显示的即为$\overline{Q}$。

7）绘制隐藏的引脚，通常在电路图中会把电源引脚隐藏起来。所以绘制电源引脚时，需要将其属性设置为“Hidden”（在元器件属性对话框中设置）。本实例分别绘制两个电源引脚：14 为“VCC”，7 为接地“GND”，引脚的电气类型均为“Power”，并选中“Hidden”复选框（将电源引脚隐藏）。绘制了这两个引脚后的图形如图 3-90 所示。

说明：图 3-90 显示了 $\overline{\text{PRE}}$ 和 $\overline{\text{CLR}}$ 引脚名，因为此时将元器件管理器的“Hidden Pins”复选框选中了，这样有助于绘制电源引脚图。

8）从图 3-89 可以看出 1 和 5 脚的名称因为没有显示出来，所以有必要分别向这两个引脚添加注释文字，即选择“Place”→“Annotation”命令，或直接从绘图工具栏上选择放置注释文本的命令，分别在 1 脚和 5 脚的名称端放置 CLR 和 PRE 注释文字。

刚放置注释文字时，仅仅放置了“Text”文本块，还需要对其属性进行修改就可实现插入 CLR 和 PR 注释文字，1 脚和 5 脚的注释文字属性修改如下。

- 1 脚：“Text”文本修改为“CLR”，“X-Location”修改为“22”，“Y-Location”修改为“-60”，颜色修改为黑色。
- 4 脚：“Text”文本修改为“PRE”，“X-Location”修改为“25”，“Y-Location”修改为“-10”，颜色修改为黑色。

插入注释文字后元器件如图 3-91 所示。

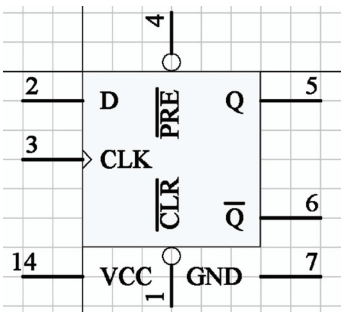


图 3-90　绘制电源引脚后的元器件图

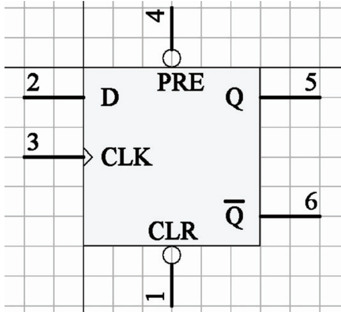


图 3-91　最终获得的元器件图

9）如果该元器件是复合封装的，则可以选择“Tools”→“New Part”命令，即可向该元器件中添加绘制封装的另一部分，过程与上面一致，不过电源通常是共用的。

10）保存已绘制好的元器件。选择“Tools”→“Rename Component”命令，打开“New Component Name”对话框，如图 3-92 所示，将元器件名称改为 74LS74，然后选择“File”→“Save”命令将元器件保存到当前元器件库文件中。

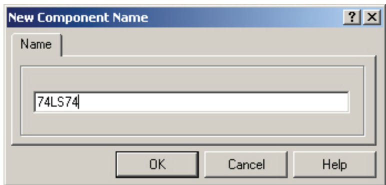


图 3-92　“New Component Name”对话框

当执行完上述操作后，现在可以查看以下元器件库管理器，如图 3-93 所示，其中已经添加了一个“74LS74”的元器件，该元器件位于“74LSxx.lib”中，而 74LSxx.lib 属于“Control.ddb”数据库文件，因为绘制该元器件是在打开的“Control.ddb”数据库文件中进行的。

11）最后还需要设置一下元器件的描述特性，在元器件管理器中选中该元器件，然后单

击“Description”按钮，系统将弹出如图 3-94 所示的“Component Text Fields”对话框。此时可以设置默认流水号，元器件封装形式，以及其他相关的描述。

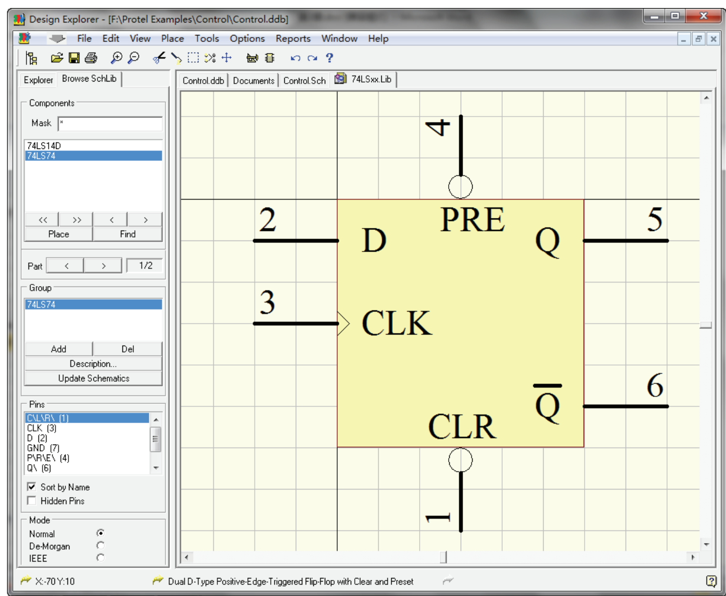


图 3-93　添加了元器件 74LS74 后的元器件库管理器

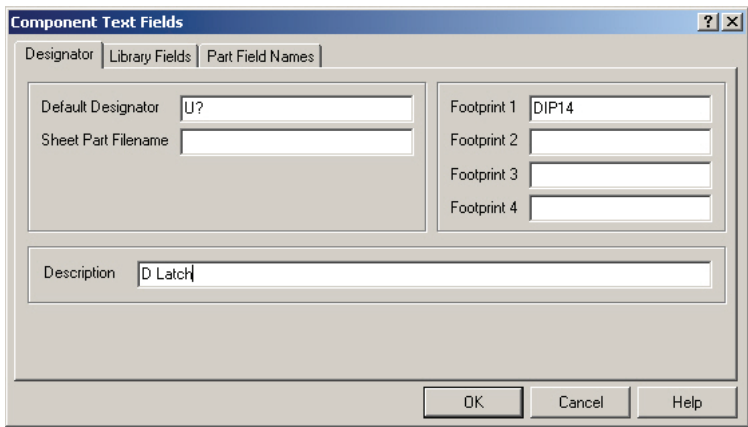


图 3-94　“Component Text Fields”对话框

如果想在原理图设计时使用此元器件，只需将该库文件装载到元器件库中，取用元器件“74LS74”即可。另外，要在现有的元器件库中加入新设计的元器件，只要进入元器件库编辑器，选择现有的元器件库文件，再选择“Tools”→“New Component”命令，然后就可以按照上面的步骤设计新的元器件。

3.3.5　生成元器件报表

在元器件库编辑器里，可以生成以下 3 种报告：“Component Report（元器件报表）”“Library

Report（元器件库报表）”和“Component Rule Check Report（元器件规则检查表）”。

1．元器件报表

选择“Reports”→“Component”命令可对元器件库编辑器当前窗口中的元器件生成元器件报表，系统会自动打开“TextEdit”程序来显示其内容，如图 3-95 所示。图示为上一节制作的元器件 74LS74 元器件的元器件报表内容。

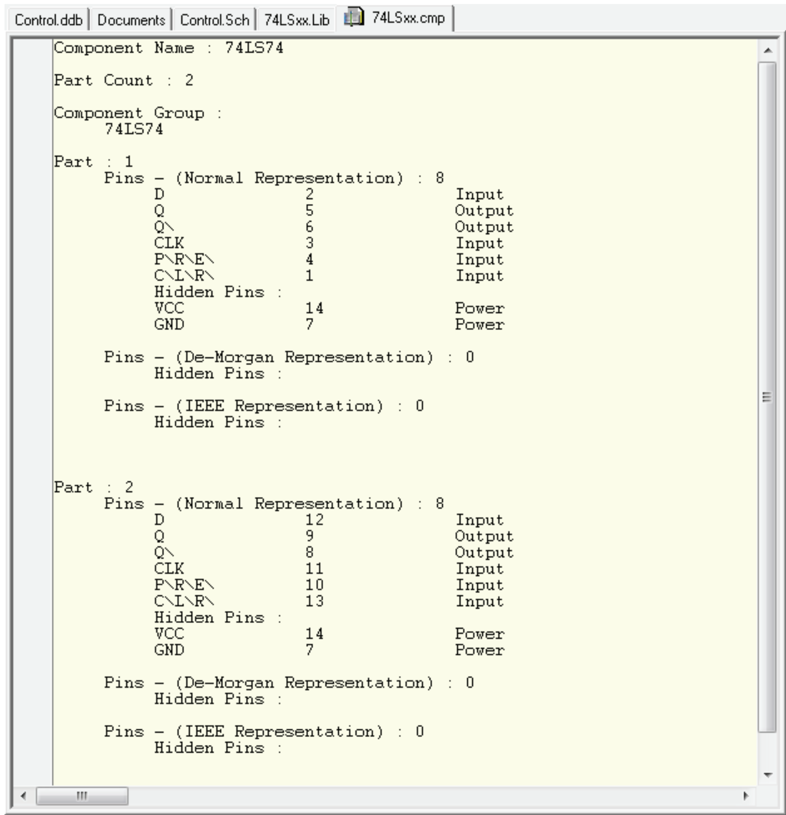


图 3-95　元器件报表窗口

元器件报表的扩展名为“cmp”，元器件报表列出了该元器件的所有相关信息，如，子元器件个数、元器件组名称以及各子元器件的引脚细节等。

2．元器件库报表

元器件库报表列出了当前元器件库中所有元器件的名称及其相关描述，元器件库报表的扩展名为“rep”。选择“Reports”→“Library”命令，可对元器件库编辑器当前的元器件库产生元器件库报表，系统会自动打开“TextEdit”程序来显示其内容。图 3-96 所示为“74LSxx.Lib”元器件库的元器件库报表内容。

3．元器件规则检查表

元器件规则检查表主要用于帮助用户进行元器件的基本验证工作，包括检查元器件库中的元器件是否有错，并将有错的元器件列出来，指明错误原因等。

选择“Reports”→“Component Rule Check”命令，系统将弹出如图 3-97 所示的“Library Component Rule Check（元器件检查）”对话框，在该对话框中可以设置检查的属性。

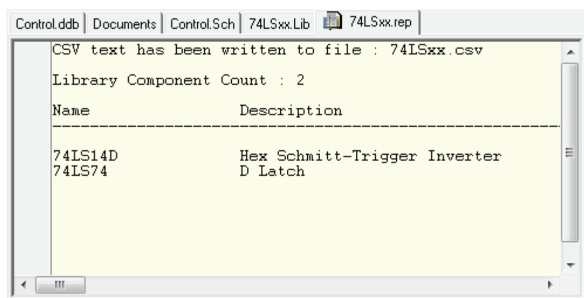


图 3-96　74Lsxx.Lib 元器件库报表内容

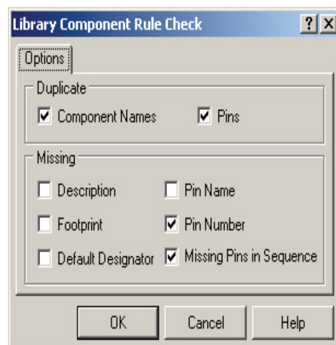


图 3-97　“Library Component Rule Check”对话框

“Library Component Rule Check”对话框中的各操作项的含义如下。

- Component Names：设置元器件库中的元器件是否有重名的情况。
- Pins：设置元器件的引脚是否有重名的情况。
- Description：检查是否有元器件遗漏了元器件描述。
- Pin Name：检查是否有元器件引脚遗漏了名称。
- Footprint：检查是否有元器件遗漏了封装描述。
- Pin Number：检查是否有元器件遗漏了引脚号。
- Default Designator：检查是否有元器件遗漏了默认流水序号。
- Missing Pins in Sequence：检查按照顺序是否遗漏了元器件引脚。

3.4　电气规则检查与报告

完成原理图的电气连接后，Protel 99 SE 可以对原理图进行电气规则检查，确保原理图设计的正确性。

3.4.1　电气规则检查

若要进行电气规则检查，可以选择“Tools”→“ERC”命令打开如图 3-98 所示的“Setup Electrical Rule Check（设置电气规则）”对话框，该对话框包括“Setup”和“Rule Matrix”两个选项卡。该对话框主要用于设置电气规则的选项、范围和参数，然后执行检查。

1）“Setup”选项卡如图 3-98 所示，其各选项含义如下。

- Multiple net names on net：检查同一个网络上是否拥有多个不同名称的网络标识符。
- Unconnected net labels：检查绘图页中是否有未连接到其他电气对象的网络标号。
- Unconnected power objects：检查是否有未连接到其他电气对象的电源对象。
- Duplicate sheet numbers：检查项目中是否有绘图页号码相同的绘图页。
- Duplicate component designators：检查绘图页中是否有流水号相同的元器件。当没有选择“Tools”→“Annotate”命令对所有元器件重新排号时，或是没有选择“Tools”→“Complex to Simple”命令将一个复杂层次化项目转换成简单的层次化设计时，这种情况最常发生。

- Bus label format errors：检查附加在总线上的网络标签的格式是否非法，以至于无法正确地反映出信号的名称与范围。由于总线的逻辑连通性是由放置于总线上的网络标签来指定的，所以总线的网络标签应该能够描述全部的信号。
- Floating input pins：检查是否有未连接到任何其他网络的输入引脚，即出现所谓的 Floating（浮空）情形。
- Suppress warnings：设置在执行 ERC 时，忽略 Warning（警告）等级的情况，而只对 Error（错误）等级的情况进行标识。这种做法主要是为了让设计师省略一部分失误条件以加速 ERC 流程。但是，为了确保电路完美无缺，在作品最后一次进行 ERC 时，千万不要设置这个选项。
- Create report file：设置列出全部 ERC 信息并产生一个文本报告。
- Add error markers：设置在绘图页上有错误或警告情况的位置上放置 Error Markers（错误标记）。这些错误标记可以帮助用户精确地找出有问题的网络连线。
- Descend into sheet parts：要求在执行 ERC 时，同时深入 Sheet Parts（绘图页元器）件中进行检查。Sheet Parts 就是一个“举止行为”都很像绘图页符号的元器件，它的引脚与其对应的子层绘图页上的输入/输出端口连通。子层的绘图页文件的路径与名称就定义在该元器件的“Sheet Part path”数据栏中。
- Net Identifier Scope：设置网络标识符的工作范围。网络标识符的范围主要是在一个多张绘图页的设计中决定网络连通性的方法。

2）“Rule Matrix”选项卡如图 3-99 所示。这是一个彩色的正方形颜色块，称为“电气规则矩阵”。

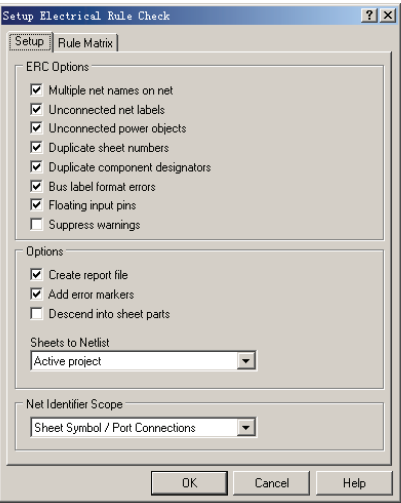


图 3-98 “Setup”选项卡

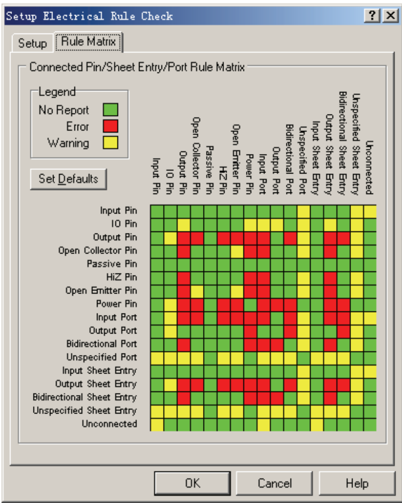


图 3-99 “Rule Matrix”选项卡

该选项卡主要用来定义各种引脚、输入/输出端口、绘图页出入端口彼此间的连接状态是否已经构成 Error 或 Warning 等级的电气冲突。所谓错误情形是指电路中有严重违反电子电路原理的连线情况出现，如 VCC 电源与 GND 接地短路这种情况；所谓警告情形是指某些轻微违反电子电路原理的连线情况（甚至可能是设计者故意的），由于系统不能确定它们是否真正有误，所以就用警告等级的信息来提醒设计者。

这个矩阵是以交叉接触的形式读入的。如要看输入引脚连接到输出引脚的检查条件，就观察矩阵左边的“Input Pin”这一行和矩阵上方的“Output Pin”这一列之间的交叉处即可（默认为绿色方块）。矩阵中以彩色方块来表示检查结果。绿色方块表示这种连接方式不会产生任何错误或警告信息（如某一输入引脚连接到某一输出引脚），黄色方块表示这种连接方式会产生警告信息（譬如未连接的输入引脚），红色方块则表示这种连接方式会产生错误（譬如两个输出引脚连接在一起）。

电气规则矩阵定义的检查条件可由用户自行加以修改，只需在矩阵方块上单击进行切换即可。切换顺序为“绿色（No Report，不产生报表）”“黄色（Warning，警告）”与“红色（Error，错误）”，然后再回到绿色。

3.4.2　电气规则检查报告

生成电气规则检查报告的步骤如下。

1）打开原理图文件，选择“Tools”→“ERC”命令。

2）执行该命令后，将会出现如图 3-98 所示的“Setup Electrical Rule Check”对话框，用户可以设置有关电气规则检查的选项。

3）设置完电气规则检查选项后，程序自动进入文本编辑器并生成相应的检查错误报告，如图 3-100 所示。

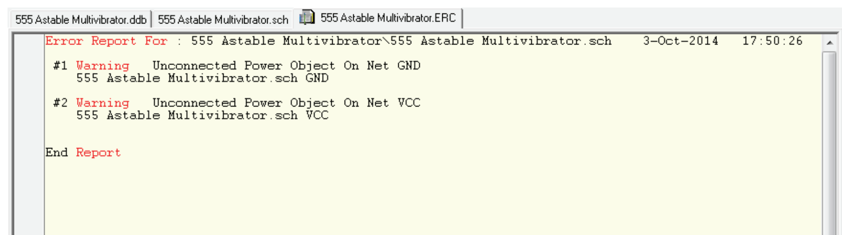


图 3-100　电气规则检查报告

4）系统在发生错误的位置放置红色的符号，提示错误的位置，如图 3-101 所示。

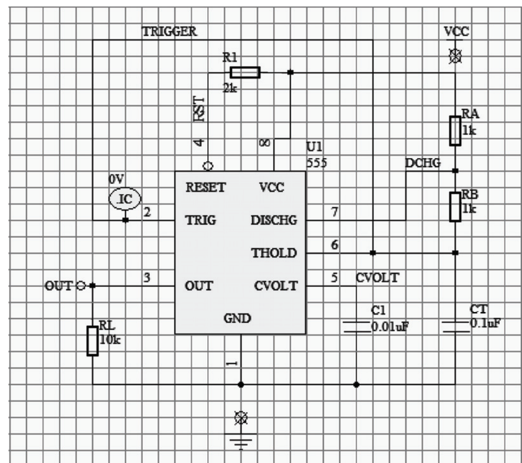


图 3-101　错误标记

3.5 生成原理图的报表

在绘制原理图后，还需要生成报表文件，例如网络表、材料表等文件。下面讲述如何生成原理图报表文件。

3.5.1 网络表

在 Advanced Schematic 所产生的各种报表中，以 Netlist（网络表）最为重要。绘制电路图最主要的目的就是将设计电路转换成一个有效的网络表，以供其他后续处理程序（例如 PCB 程序或仿真程序）使用。由于 Protel 系统高度的集成性，可以在不离开绘图页编辑程序的情况下，直接执行命令产生当前原理图或整个项目的网络表。

在由原理图产生网络表时，使用的是逻辑的连通性原则，而非物理的连通性。也就是说，只要是通过网络标签所连接的网络就被视为有效的连接，而并不需要真正地由连线（Wire）将网络各端点实际地连接在一起。

网络表有很多种格式，通常为 ASCII 码文本文件。网络表的内容主要为原理图中各元器件的数据（流水号、元器件类型与包装信息）以及元器件之间网络连接的数据。某些网络表格式可以在一行包括这两种数据，但是 Protel 中大部分的网络表格式都是将这两种数据分为不同的部分，分别记录在网络表中。有些网络表中还可包含诸如 Component Text（元器件文字）或 NetText Fields（网络文字栏）等额外的信息，某些仿真程序或 PCB 程序需要这些信息。

由于网络表是纯文本文件，所以用户可以利用一般的文本编辑程序自行建立或是修改已存在的网络表。当用手工方式编辑网络表时，在保存文件时必须以纯文本格式来保存。

1．产生网络表的各种选项

产生网络表可以选择“Design”→“Create Netlist”命令来进行，然后将打开“Netlist Creation”对话框，该对话框包括“Preferences”和“Trace Options”两个选项卡，分别如图 3-102 和图 3-103 所示。

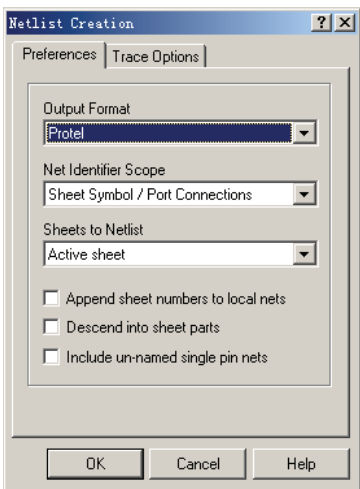


图 3-102 “Preferences”选项卡

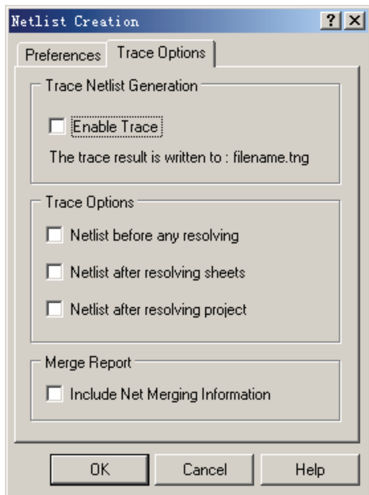


图 3-103 “Trace Options”选项卡

（1）“Preferences”选项卡

“Preferences”选项卡中各选项的含义如下。

- Output Format：选择网络表输出的格式。
- Net Identifier Scope：设置网络标识符的工作范围。如同 ERC 表的设置，包括“Net Labels and PortsGlobal”“Only Ports Global”和“Sheet Symbol/Port Connections”3 个可选项。
- Append sheet number to local net names：设置在产生网络表时，为每个网络编号附加绘图页号码数据。假如在“Net Identifier Scope”（网络标识符范围）下拉列表框中选择“Only Ports Global”，那么各绘图页中的网络标号为区域性的。也就是说，在不同的绘图页中可能有名称相同的网络标号。通过附加绘图页号码的功能，可以确保在产生的网络表中每个网络的编号都是独一无二的。
- Descend into sheet parts：当使用绘图页元器件时，应该激活这个选项，从而使产生的网络表将绘图页元器件层次下的绘图页也包含在内。绘图页元器件必须在其“Part”对话框的“Sheet Path”中标示出其对应的子绘图页文件路径与名称。
- Include un-named single pins net：设置产生网络表时，也将所有未命名的单边连线都包含在内。所谓单边连线指的是只有一端接到电气对象，而另一端空接（Floating）的连线。

（2）“Trace Options”选项卡

“Trace Options”选项卡中各选项的含义如下。

- Enable Trace：设置将产生网络表的过程记录下来，并存入*.tng 跟踪记录文件中。
- Netlist before any resolving：设置在分解电路之前就产生网络表。
- Netlist after resolving sheets：设置在分解打开的绘图页后才产生网络表。
- Netlist after resolving project：设置在分解整个项目后才产生网络表。
- Include Net Merging information：设置将合并网络的数据也含入跟踪记录文件中。

2．Protel 网络表格式

标准的 Protel 网络表文件是一个简单的 ASCII 码文本文件，在结构上大致可分为元器件描述和网络连接描述两部分。

1）元器件的描述格式如下。

```
[           元器件声明开始
C1          元器件序号
RAD0.2      元器件封装
0.1uf       元器件注释
]           元器件声明结束
```

元器件的声明以“[”开始，以“]”结束，将其内容包含在内。

网络经过的每一个元器件都须有声明。

2）网络连接描述格式如下。

```
（          网络定义开始
NetU1_15    网络名称
U1-15       元器件序号及元器件引脚号
```

U11-9　　　　　　　元器件序号及元器件引脚号

)　　　　　　　　网络定义结束

网络定义以“(”开始，以“)”结束，将其内容包含在内。网络定义首先要定义该网络的各端口。网络定义中必须列出连接网络的各个端口。

3．生成网络表

以图 3-104 为例，讲述一下生成网络表的一般步骤。

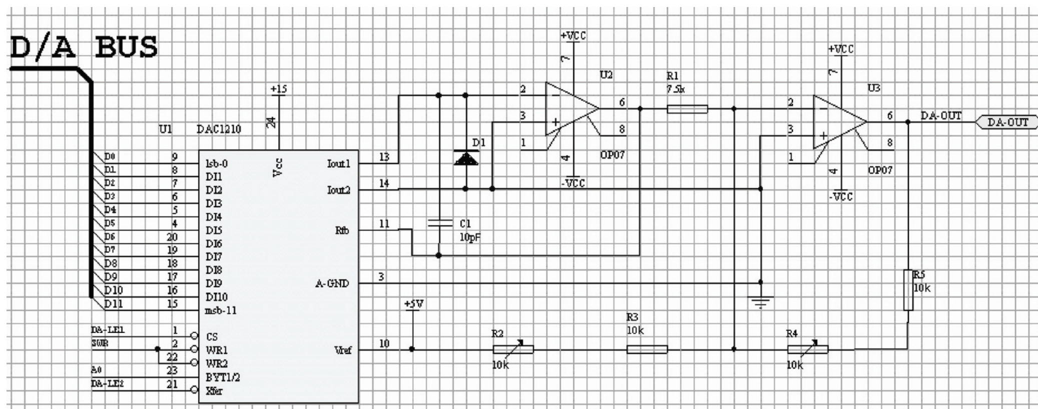


图 3-104　原理图

1）选择“Design”→“Create Netlist”命令，弹出如图 3-102 所示的“Netlist Creation”对话框，用户可以进行相关设置。

2）设置完后，将进入 Protel 99 SE 的记事本程序，并保存为*.net 的文件，产生如图 3-105 所示的网络表。

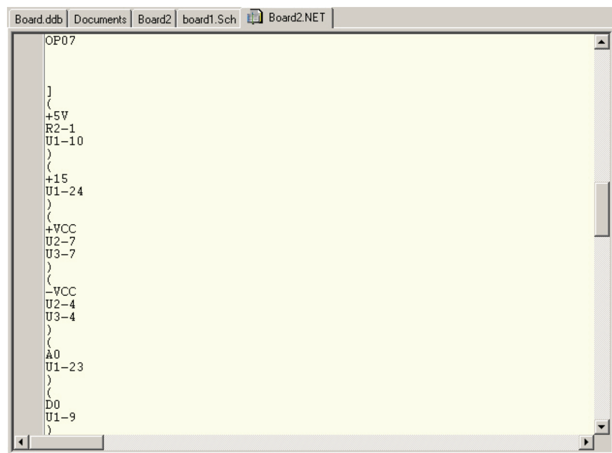


图 3-105　网络表文件

注意：网络表是联系原理图和 PCB 的中间文件，PCB 布线需要网络表文件（.net）。需要知道的是，网络表文件不但可以从原理图获得，而且用户还可以自己按规则编写，同样可以用来建立 PCB。

3.5.2　元器件材料表

元器件的材料表主要是用于整理一个电路或一个项目文件中的所有元器件。它主要包括元器件的名称、标注、封装等内容。本节中以图 3-104 为例，讲述产生原理图的元器件材料的基本步骤。

1）打开原理图文件，选择“Report”→“Bill of Material”命令，弹出如图 3-106 所示的“BOM Wizard”对话框，可以选择是产生整个项目（Project）的元器件材料表，还是产生当前原理图（Sheet）的元器件材料表。

2）单击“Next”按钮进入如图 3-107 所示的对话框，此对话框主要用于设置元器件报表中所包含的内容。



图 3-106　“BOM Wizard”对话框

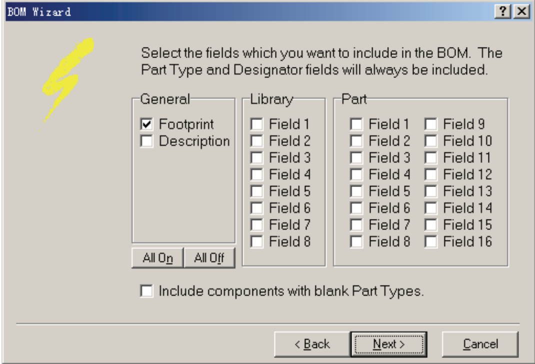


图 3-107　设置元器件报表内容

3）设置完毕后，单击“Next”按钮，进入如图 3-108 所示的对话框，要求选择需要加入表中的文字栏，然后单击“Next”按钮，进入如图 3-109 所示的对话框。在该对话框中选择最终的元器件材料表以何种格式产生，系统共提供了“Protel Format”“CSV Format”和“Client Spreadsheet”3 种格式。在此实例中选择“Client Spreadsheet”复选框（即电子表格格式）。

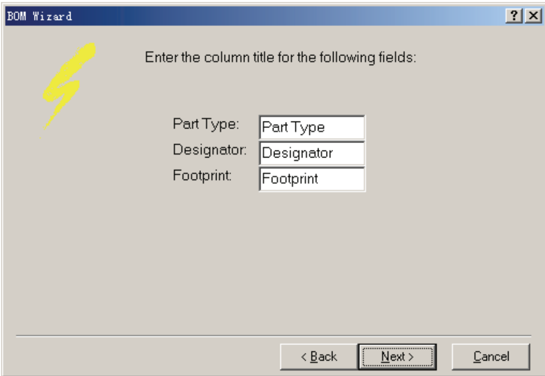


图 3-108　定义元器件材料表和项目名称

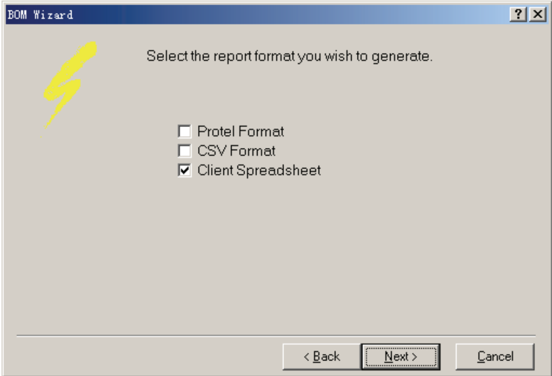


图 3-109　选择产生的元器件材料表的格式

4）选择“Spread Sheet”格式后，单击“Next”按钮，进入如图 3-110 所示的对话框。

然后单击“Finish”按钮，程序会进入表格编辑器，并生成扩展名为“xls”的元器件材料表，如图 3-111 所示。

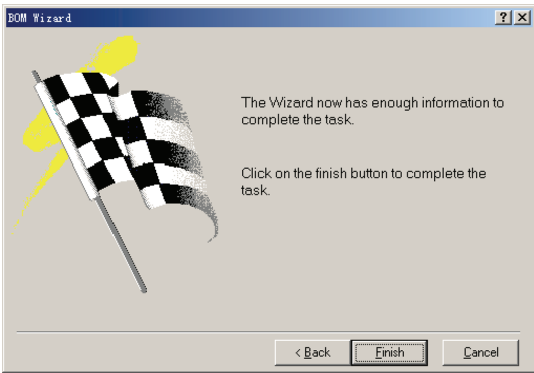


图 3-110　执行元器件材料表产生命令对话框

Board.ddb | Documents | Board2 | board1.Sch | Board2.NET | Board2.XLS

A1　Part Type

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Part Type	Designator	Footprint					
2	7.5k	R1	RAD0.2					
3	10K	R4	RAD0.2					
4	10K	R2	RAD0.2					
5	10K	R5	RAD0.2					
6	10K	R3	RAD0.2					
7	10pf	C1	RAD0.2					
8	DAC1210	U1	DIP24					
9	OP07	U2	DIP8					
10	OP07	U3	DIP8					

Sheet1

图 3-111　元器件材料表表格文件

3.5.3　交叉参考表

交叉参考表（Cross Reference）可为多张原理图中的每个元器件列出其元器件类型、流水号和隶属的绘图页文件名称。这是一个 ASCII 码文件，扩展名为“xrf”。建立交叉参考表的步骤如下。

1）选择“Reports”→“Cross Reference”命令。

2）执行该命令后，程序就会进入 Protel 99 SE 的 TextEdit 文本编辑器，并生成相应的报表文件，如下所示：

```
Part Cross Reference Report For : Board2.xrf      06-SEP-2014   16:20:36
Designator       Component              Library Reference Sheet
----------------------------------------------------------------------
C1                10pF                  Board2
D1                                      Board2
R1                7.5k                  Board2
R2                10k                   Board2
R3                10k                   Board2
R4                10k                   Board2
R5                10k                   Board2
U1                DAC1210               Board2
U2                OP07                  Board2
U3                OP07                  Board2
```

3.5.4　网络比较表

网络比较表（Netlist Comparison）可比较用户指定的两份网络表，并将二者的差别列成文件。网络比较表是一个 ASCII 码文件，其扩展名为“rep”。通常，当更新电路图版本时，可利用该功能将新版电路的修正部分记录下来存盘备查。

1）选择“Report”→“Netlist Compare”命令，弹出如图 3-112 所示的“Select”对话框。在对话框中输入参与比较的第一个网络文件。结束后，单击“OK”按钮，会再弹出如图 3-112 所示的对话框，提示用户输入第二个网络文件。

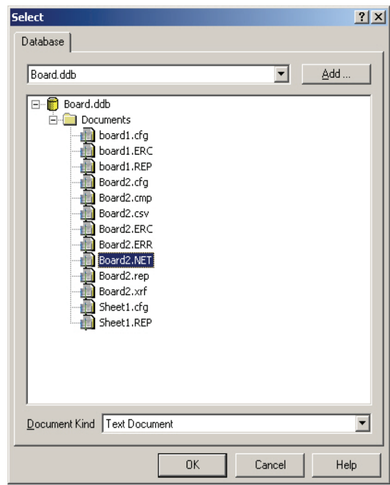


图 3-112　输入第一个网络文件

2）比较后，程序自动进入文本编辑框，并产生如下的报表文件。

Extra Net SWR In Board2.NET
Extra Net NetU1_13 In Board2.NET
Extra Net NetU1_11 In Board2.NET
Extra Net NetR4_2 In Board2.NET
Extra Net NetR3_2 In Board2.NET
Extra Net NetR2_2 In Board2.NET
Extra Net GND In Board2.NET
Extra Net DA-OUT In Board2.NET
Extra Net DA-LE2 In Board2.NET
Extra Net DA-LE1 In Board2.NET
Extra Net D11 In Board2.NET
Extra Net D10 In Board2.NET
Extra Net D9 In Board2.NET
Extra Net D8 In Board2.NET
Extra Net D7 In Board2.NET
Extra Net D6 In Board2.NET
Extra Net D5 In Board2.NET
Extra Net D4 In Board2.NET
Extra Net D3 In Board2.NET
Extra Net D2 In Board2.NET
Extra Net D1 In Board2.NET
Extra Net D0 In Board2.NET
Extra Net A0 In Board2.NET
Extra Net -VCC In Board2.NET

Extra Net +VCC In Board2.NET
Extra Net +15 In Board2.NET
Extra Net +5V In Board2.NET

Total Matched Nets	= 0
Total Partially Matched Nets	= 0
Total Extra Nets in Board2.NET	= 27
Total Extra Nets in Root	= 0
Total Nets in Board2.NET	= 27
Total Nets in Root	= 0

习题

1．绘制如图 3-113～图 3-115 所示的层次原理图，在绘制层次原理图前，可以先绘制子图（分别如图 3-113 和图 3-114 所示），然后再绘制主原理图（图 3-115 所示），即采用自顶而下的方式。图 3-113 所示的图形保存为 CLOCK.Sch，图 3-114 所示的图形保存为 SIN.Sch，然后再绘制层次原理图。

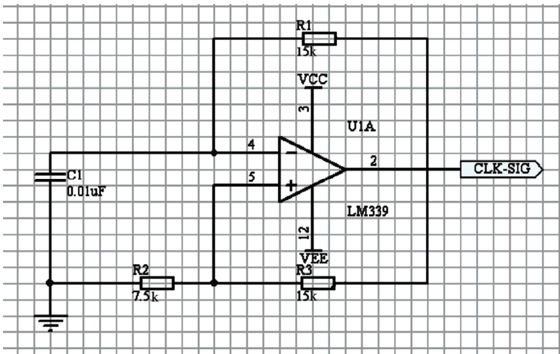


图 3-113　子图 CLOCK.Sch

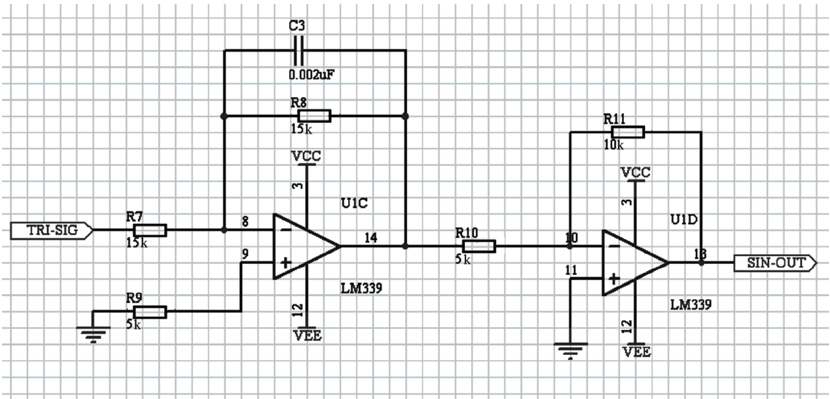


图 3-114　子图 SIN.Sch

说明：绘制该层次原理图时，也可以先绘制主层次原理图，然后再绘制子图形，即采用自下而上的方式。

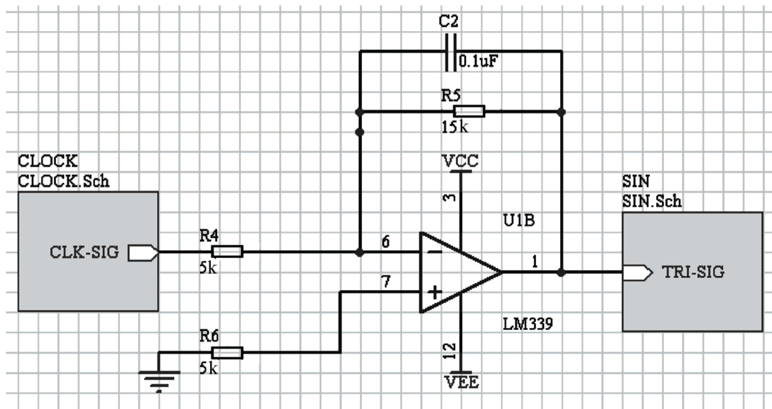


图 3-115　主图 TRI.Prj

2．绘制图 3-116 所示的定时器，其元器件图和现实隐藏引脚的元器件图一致，只是 1、4 和 8 引脚名没有现实，重新添加了文本以显示水平文本。可以参考 555 定时器元器件（位于 Sim.ddb 中的 Timer.lib）进行绘制。

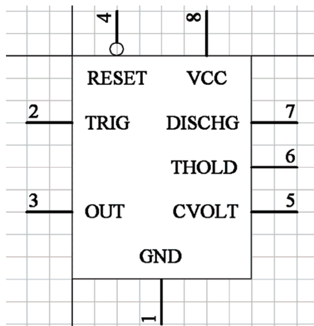


图 3-116　定时器

3．网络表是否一定要从原理图生成？网络表的主要作用是什么？

第 4 章　电路的信号仿真

Protel 99 SE 不但可以绘制电路图和印制电路板，而且还提供了电路仿真工具 Advanced SIM 99，用户可以方便地对设计的电路信号进行模拟仿真。本章将讲述 Protel 99 SE 仿真工具的设置、使用以及电路仿真的基本方法。

Protel Advanced SIM 99 是一个数-模混合信号电路仿真器，能进行模拟信号和数字信号的仿真。Protel Advanced SIM 99 与 Protel Advanced Schematic 原理图输入程序协同工作，作为 Advanced Schematic 的扩展，为用户提供一个完整的从设计到验证的仿真设计环境。

在 Protel 99 SE 中进行仿真操作，只需简单地从仿真用元器件库中放置所需的元器件，连接好原理图，加上激励源，即可实现电路的仿真。

4.1　SIM 99 仿真库中的元器件

在 SIM 99 的仿真元器件库（Library\Sch\Sim.ddb）中，包含了如下主要的仿真用元器件。

4.1.1　电阻

在库 Simulation Symbols.lib 中，包含了如下的电阻器：

- RES：固定电阻（定阻）。
- RESSEMI：半导体电阻。
- RPOT：电位计。
- RVAR：可变电阻。

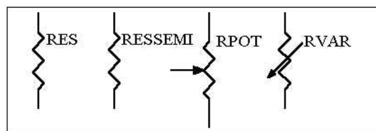


图 4-1　仿真库中的电阻类型

上述符号代表了一般的电阻类型，如图 4-1 所示。

这些元器件有一些特殊的仿真属性域。在放置过程中按〈Tab〉键，或者放置元器件后双击该元器件弹出属性设置对话框，就可设置如下参数。

- Designator：电阻器名称（如 R1）。
- Part Type：以欧姆（Ω）为单位的电阻值（如 100 kΩ）。
- L：在“Part Fields”选项卡设置，以米（m）为单位的电阻的长度（半导体电阻）。
- W：在“Part Fields”选项卡设置，以米（m）为单位的电阻的宽度（半导体电阻）。
- Temp：在“Part Fields”选项卡设置，元器件工作温度，以摄氏度（℃）为单位。默认时为 27（半导体电阻）。
- Set：在“Part Fields”选项卡设置，仅仅对电位计和可变电阻有效。

4.1.2　电容

在库 Simulation Symbols.lib 中，包含了如下的电容。

- CAP：定值无极性电容。
- CAP2：定值有极性电容。
- CAPSEMI：半导体电容。

这些符号表示了一般的电容类型，如图 4-2 所示。

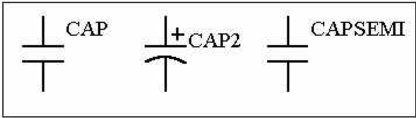


图 4-2　仿真库中的电容类型

在电容的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：电容名称（如 C1）。
- Part Type：以法拉（F）为单位的电容值（如 22μF）。
- L：在“Part Fields”选项卡设置，以米（m）为单位的电容的长度（用于半导体电容）。
- W：在“Part Fields”选项卡设置，以米（m）为单位的电容的宽度（用于半导体电容）。
- IC：在“Part Fields”选项卡设置，表示初始条件，即电容的初始电压值。该项仅在仿真分析工具傅里叶变换中“初始条件”选项被选中后，才有效。

4.1.3　电感

在库 Simulation Symbols.lib 中，包含的电感为 INDUCTOR。在电感的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：电感名称（如 L1）。
- Part Type：以微亨（μH）为单位的电感值（如 47μH）。
- IC：在“Part Fields”选项卡设置，表示初始条件，即电感的初始电压值。该项仅在仿真分析工具傅里叶变换中“初始条件”被选中后，才有效。

4.1.4　二极管

在库 Diode.lib 中，包含了数目巨大的以工业标准部件命名的二极管。如图 4-3 所示简单列出了库中包含的几种二极管。

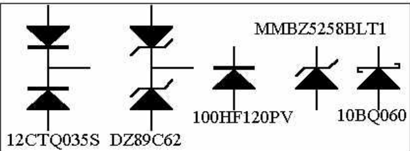


图 4-3　仿真库中的二极管类型

在二极管的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：二极管名称（如 D1）。
- Area：在“Part Fields”选项卡设置，定义模型中的并行元器件数。该选项将影响该模型的许多参数。
- Off：在“Part Fields”选项卡设置，在操作点分析中使二极管电压为零。
- IC：在“Part Fields”选项卡设置，表初始条件，即通过二极管的初始电压值。该项仅在仿真分析工具傅里叶变换中的“初始条件”被选中后，才有效。
- Temp：在“Part Fields”选项卡设置，元器件工作温度，以摄氏度（℃）为单位，默认为 27。

4.1.5　晶体管

在库 Bjt.lib 中，包含了数目巨大的以工业标准部件命名的晶体管。如图 4-4 所示简单列出了库中包含的晶体管。

在晶体管的属性对话框中可设置如下参数：

- Designator：晶体管名称（如 Q1）。
- Area：在“Part Fields”选项卡设置，定义模型中的并行元器件数。该选项将影响该模型的许多参数。
- Off：在“Part Fields”选项卡设置，在操作点分析中使晶体管电压为零。
- IC：在“Part Fields”选项卡设置，表初始条件，即通过晶体管的初始电压值。该项仅在仿真分析工具傅里叶变换中“初始条件”被选中后，才有效。
- Temp：在“Part Fields”选项卡设置，元器件工作温度，以摄氏度（℃）为单位。

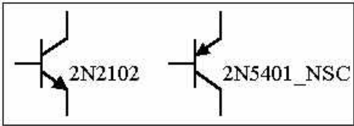


图 4-4　仿真库中的晶体管类型

4.1.6　JFET 结型场效应晶体管

结型场效应晶体管包含在 Jfet.lib 库文件中，其模型建立在 Shichman 和 Hodges 的场效应晶体管的模型上。如图 4-5 所示简单列出了库中包含的结型场效应晶体管。

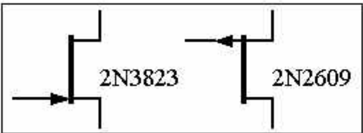


图 4-5　仿真库中的结型场效应晶体管类型

在结型场效应晶体管的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：结型场效应晶体管名称（如 Q1）。
- Area：在“Part Fields”选项卡设置，该属性定义了所定义的模型下的并行元器件数。该选项将影响该模型的许多参数。
- OFF：在“Part Fields”选项卡设置，在操作点分析中使终止电压为零。
- IC：在“Part Fields”选项卡设置，表示初始条件，即通过 JFET 结型场效应晶体管的初始电压值。该项仅在仿真分析工具傅里叶变换中“初始条件”选项被选中后，才有效。
- Temp：在“Part Fields”选项卡设置，工作温度以摄氏度（℃）为单位，默认为 27。

4.1.7　MOS 场效应晶体管

MOS 场效应晶体管是金属-氧化物-半导体场效应晶体管，是现代集成电路中最常用的元器件。SIM 99 提供了 4 种 MOSFET 模型，它们的伏安特性公式各不相同，但它们基于的物理模型是相同的。

在库 Mosfet.lib 中，包含了数目巨大的以工业标准部件命名的 MOS 场效应晶体管。仿真器支持 Shichman Hodges，BSIM 1、2、3 和 MOS 2、3、6 模型。如图 4-6 所示简单列出了库中包含的 MOS 场效应晶体管。

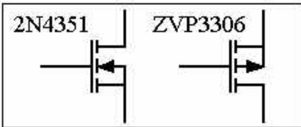


图 4-6　仿真库中的 MOS 场效应管类型

在 MOS 场效应晶体管的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：MOS 场效应晶体管名称（如 Q1）。
- L：沟道长度，在“Part Fields”选项卡设置，单位为米（m）。
- W：沟道长度，单位为米（m）。

- AD：漏区面积，单位为平方米（m^2）。
- AS：源区面积，单位为平方米（m^2）。
- PD：漏区周长，单位为米（m）。
- PS：源区周长，单位为米（m）。
- NRD：漏极的相对电阻率的方块数。
- NRS：源极的相对电阻率的方块数。
- OFF：可选项，在操作点分析中使终止电压为零。
- IC：可选项，表初始条件，即通过 MOS 场效应晶体管的初始值。该项仅在仿真分析工具傅里叶变换中“初始条件”选项被选中后，才有效。
- Temp：可选项，工作温度以摄氏度（℃）为单位，默认为 27。

4.1.8 MES 场效应晶体管

库 Mesfet.lib 中包含了一般的 MES 场效应晶体管。MES 场效应晶体管模型是从 Statz 的砷化镓场效应晶体管的模型得到的。如图 4-7 所示，该图简单列出了库中包含的 MES 场效应管。

在 MES 场效应晶体管的属性对话框中可设置如下参数。

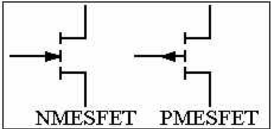


图 4-7　仿真库中的 MES 场效应管类型

- Designator：MES 场效应晶体管名称（如 Q1）。
- Area：在“Part Fields”选项卡设置，其属性定义了所定义的模型下的并行元器件数。该选项将影响该模型许多参数。
- OFF：在“Part Fields”选项卡设置，在操作点分析中使终止电压为零。
- IC：在“Part Fields”选项卡设置，表初始条件，即通过 MES 场效应晶体管的初始值。该项仅在仿真分析工具傅里叶变换中“初始条件”被选中后，才有效。

4.1.9 电压/电流控制开关

库 Switch.lib 包含了如下的可用于原理图的开关。

- CSW：默认电流控制开关。
- SW：默认电压控制开关。
- SW05：VT=500.0mV 时的电压控制开关。
- SWM10：VT=0.01V 时的电压控制开关。
- SWP10：VT=0.01V 时的电压控制开关。
- STTL：VT=2.5V，VH=0.1V 时的电压控制开关。
- TTL：VT=2V，VH=1.2V，ROFF=100E+6Ω 时的电压控制开关。
- TRIAC：VT=0.99V，RON=0.1Ω，ROFF=1E+7Ω 时的电压控制开关。

如图 4-8 所示简单列出了库中包含的电压/电流控制开关。

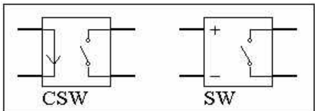


图 4-8　仿真库中的电压/电流控制开关类型

在电压/电流控制开关的属性对话框中可设置

如下参数。

- Designator：电压/电流控制开关名称（如 S1）。
- ON/OFF：在“Part Fields”选项卡设置，初始条件选择。该选项可为 ON 或 OFF。

此开关模型描述了一个几乎理想化的开关。开关不十分理想，是因为电阻值不能从 0 到无穷大变化，而是总有一个有限的正值。通过适当选择开启态和关闭态电阻，可使得这两个电阻与其他电路元器件相比较时能看做零和无穷大。

注意：理想元器件是高度非线性的，例如开关，使用这些元器件能在电路节点电压出现大的、不连续的迅速变化，比如与开关改变状态相联系的变化，能够引起数字上的舍入或容差问题，而导致错误的结果或设置时间步长的困难。

在使用开关时，应当注意这个问题。设计者可以采用如下步骤改善这种情况。

- 将理想开关阻抗设置到和其他电路元器件相比足够大或低到可以忽略。在所有的情况下用近似于理想的开关阻抗将加剧上面所提到的不连续问题。当然，在模拟实际的元器件如 MOSFET 时，开态电阻将按模拟的元器件尺寸调整到实际水平。
- 对于如 MOS 场效应管元器件的模型，设置现实的阻抗值。
- 如果在开关模型中必须使用大范围的开启态到关闭态电阻（ROFF/RON >1 E +12），那么在瞬态分析期间，应利用所允许误差的容限，因为利用此容限后，在开关点附近将更加平滑，不会由于电路中的迅速变化而产生误差。如果在傅里叶变换中减少容许的误差，则将 TRTOL 参数设为 1。
- 如开关放置在电容周围，则参数 CHGTOL 同样应当减少（可尝试 1E−16）。

上述的 TRTOL 和 CHGTOL 参数可在 Simulate Setup\Advanced\Analyses setup 中设置。

SPICE 仿真器内支持如表 4−1 所示的开关参数。

表 4−1　开关模型的参数

模 型 参 数	定　义	单　位	默 认 值
VT	阀值电压	V	0.0
IT	阀值电流	A	0.0
VH	滞后电压	V	0.0
IH	滞后电流	A	0.0
RON	开态电阻	Ω	1.0
ROFF	关态电阻	Ω	1/GMIN

4.1.10　熔丝

Fuse.lib 包含了一般的熔丝元器件，在熔丝的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：熔丝名称（如 F1）。
- Current：熔断电流（单位 A），如 250 mA。
- Resistance：在“Part Fields”选项卡设置，以欧姆（Ω）为单位的串联熔丝的阻抗。

4.1.11　晶体振荡器

库 Crystal.lib 中包含了不同规格的晶体振荡器。对晶体振荡器的属性可设置如下参数。

- Designator：晶体振荡器名称（如 Y1）。
- Freq：在“Part Fields”选项卡设置，晶体振荡器频率，如 2.5MHz。这将改变模型的默认值。
- RS：在“Part Fields”选项卡设置，以欧姆（Ω）为单位的串阻值。
- C：以法拉（F）为单位的电容值，在“Part Fields”选项卡设置。
- Q：等效电路的 Q。

4.1.12 继电器（RELAY）

库 Relay.lib 包括了大量的继电器，如图 4-9 所示。在继电器的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：继电器名称。
- Pullin：触点引入电压，在“Part Fields”选项卡设置。
- Dropoff：触点偏离电压。
- Contar：触点阻抗。
- Resistance：线圈阻抗。
- Inductor：线圈电感。

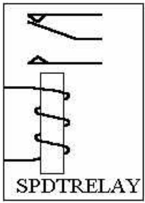


图 4-9　仿真库中的继电器

4.1.13 互感器（电感耦合器）

库 Transformer.lib 包括了大量的电感耦合器，在电感耦合器的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：电感耦合器名称（如 T1）。
- Ratio：二次/一次转换比，这将改变模型的默认值，在“Part Fields”选项卡设置。
- RP：可选项，一次阻抗。
- RS：可选项，二次阻抗。
- LEAK：泄放电感。
- MAG：磁化电感。

4.1.14 传输线

库 Transline.lib 中包含了如下的几种传输线符，如图 4-10 所示。

1．LLTRA 无损耗传输线

该传输线是一个双向的理想延迟线，有两个端口。节点定义了端口的正电压的极性。

在无损耗传输线的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：无损耗传输线名称。
- ZO：可选项，特征阻抗，单位为欧姆（Ω），在“Part Fields”选项卡设置。
- TD：传输线的延时（指节点间）。
- F：频率（指节点间）。
- NL：在频率为 F 时相对于传输线波长归一化的传输线电学长度（指节点间）。

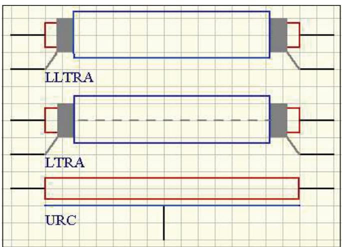


图 4-10　仿真库中包含的传输线类型

传输线长度可用两种形式表示：一种是由传输线的延时 TD 确定的，例如 TD=10ns；另一种是给出一个频率 F 和参数 NL 来确定。如规定了 F 而未给出 NL，则认为 NL=0.25（即频率为 1/4 的波长，F 为二次谐波频率）。

注意：传输线长度可用两种形式表示且作为任选项，但必须规定其中的一种。

2．LTRA 有损耗传输线

单一的损耗传输线将使用两端口响应模型。这个模型属性包含了电阻值、电感值、电容值和长度，这些参数不能直接在原理图文件中设置，但用户可以创建和引用自己的模型文件。

3．URC 均匀分布传输线

分布 RC 传输线模型（即 URC 模型）是根据 L.Gertzberrg 在 1974 年所提出的模型推导出的。模型由 URC 传输线的子电路类型扩展成内部产生节点的集总 RC 分段网络而获得。RC 各段在几何上是连续的。

URC 线必须严格由电阻和电容段构成，在均匀分布传输线的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：均匀分布传输线名称。
- L：可选项，RC 传输线的长度，在“Part Fields”选项卡设置。
- N：可选项，RC 线模型使用的段数。

4.1.15　TTL 和 CMOS 数字电路元器件

库 74xx.lib 包含了 74XX 系列的 TTL 逻辑元器件；库 Cmos.lib 包含了 4000 系列的 CMOS 逻辑元器件。用户可使用上述的元器件库包含数字电路元器件到所设计的原理图中。

对数字电路元器件的属性可设置如下参数。

- Designator：数字电路元器件名称，如 U1。
- Propagation：可选项，元器件的延时，可以设置为最大或最小来使用最大延时值或最小延时值，默认值为典型值，在“Part Fields”选项卡设置。
- Drive：可选项，输出驱动特性，可以设置为最大或最小来使用最大值或最小值，默认值为典型值。
- Current：可选项，标识元器件功率的输出电流，可以设置为最大或最小来使用最大值或最小值，默认值为典型值。
- PWR Value：可选项，电源支持电压。将改变默认数字元器件支持电压值，一旦定义该值，则 GND Value 值也需定义。
- GND Value：可选项，地支持电压。将改变默认数字元器件支持电压值，一旦定义该值，则 PWR Value 值也需定义。
- VIL Value：低电平输入电压。
- VIH Value：高电平输入电压。
- VOL Value：低电平输出电压。
- VOH Value：高电平输出电压。
- WARN：在类 C 的模型中，设置该项为开状态，则将显示诸如无效功能等的警告信息，默认为关状态。

注意：通过类 C 模型，可以改变上述的 PWR、GND、VIL、VIH、VOL、VOH 的值，其中的任一个如果没有设置，将在属性对话框中显示“*”，那么将会使用类 C 模型中定义的值。如果定义了该值，则将改变 C 模型中的值。

例如一个 CMOS 数字元器件支持 5V 电压，一般情况下，它的任一输出管脚的高电平为 5V。但是，一旦 VOH 被设置为 8V，那么输出管脚的高电平将为 8V。

4.1.16 集成块

SIM 99 中复杂元器件都被用 SPICE 子电路完全模型化。对于这些元器件，用户只需放置并设置该标号。所有的仿真用参数都已在 SPICE 子电路设定好。表 4-2 是 SIM 99 中的仿真用数据库中包含的元器件库以及所包含的复杂元器件的说明。

表 4-2 集成块所在的元器件库及其说明

库 名	说 明
Tsegdisp.lib	一般显示不同颜色的 7 段 LED
Buffer.lib	按工业标准部件排序的缓冲器集成块
Camp.lib	按工业标准部件排序的电流放大器
Comparator.lib	按工业标准部件排序的比较器
IGBT.lib	双极晶体管
Math.lib	带有数学传递功能的两端口元器件
Math.lib	带有数学传递功能的两端口元器件
Misc.lib	各种集成块和其他元器件
Opamp.lib	按工业标准部件排序的运算放大器
Opto.lib	一般隔离
Regulator.lib	按工业标准部件排序的电压调节器
SLR.lib	晶闸管整流器
Timer.lib	555 时钟
Triac.lib	三端双向晶闸管元器件
Tube.lib	不同的阀门
UJT.lib	不同的单结晶体管

注意：在上述所有元器件的属性对话框中的“Part Type”选项中，包括了该元器件的 SPICE 模型，一般情况下，该默认值适用于大多数仿真，用户一般无需修改这些值。

4.2 SIM 99 中的激励源描述

4.2.1 直流源

在库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的直流源元器件。

● VSRC：电压源。

● ISRC：电流源。

仿真库中的电压/电流源符号如图 4-11 所示。

这些电压/电流源提供了用来激励电路的一个不变的电压或电流输出。

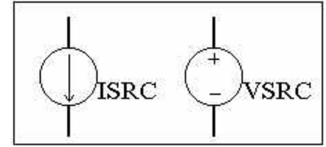


图 4-11　电压/电流源符号

在直流源的属性对话框中可设置如下参数。

● Designator：直流源元器件名称。
● AC Magnitude：如果欲在此电源上进行交流小信号分析，可设置此项（典型值为 1），在“Part Fields”选项卡设置。
● AC Phase：小信号的电压相位。

4.2.2　正弦仿真源

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的正弦源元器件。

● VSIN：正弦电压源。
● ISIN：正弦电流源。

仿真库中的正弦电压/电流源符号如图 4-12 所示，通过这些电压/电流源可创建正弦波电压和电流源。在正弦仿真源的属性对话框中可设置如下参数。

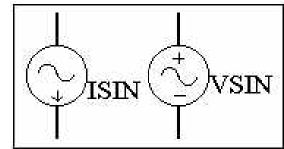


图 4-12　正弦电压/电流源符号

● Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 INPUT。
● DC Magnitude：此项将不设置。
● AC Magnitude：如果欲在此电源上进行交流小信号分析，可设置此项（典型值为 1），在“Part Fields”选项卡设置。
● AC Phase：小信号的电压相位。
● OFFSET：电压或电流的正弦偏置。
● Amplitude：正弦曲线的峰值，如 100mV。
● Frequency：正弦波的频率，单位为 Hz。
● Delay：激励源开始的延时时间，单位为 s。
● Damping Factor：每秒正弦波幅值上的减少量，设置为正值将使正弦波以指数形式减少；为负值则将使幅值增加；如果为 0，则给出一个不变幅值的正弦波。
● Phase Delay：时间为 0 时的正弦波的相移，如 0°。

4.2.3　周期脉冲源

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的周期脉冲源元器件。

● VPULSE：电压脉冲源。
● IPULSE：电流脉冲源。

利用这些源可以创建周期的连续的脉冲。在周期脉冲源的属性对话框中可设置如下参数。

● Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 INPUT。
● DC：此项将被忽略，在“Part Fields”选项卡设置。

- AC：如果欲在此电源上进行交流小信号分析，可设置此项（典型值为 1）。
- AC Phase：小信号的电压相位。
- Initial Value：电压或电流的起始值。
- Pulsed：延时和上升时间时的电压或电流值。
- Time Delay：激励源从初始状态到激发时的延时，单位为 s。
- Rise Time：上升时间，必须大于 0。
- Fall Time：下降时间，必须大于 0。
- Pulse Width：脉冲宽度，即脉冲激发状态的时间，单位为 s。
- Period：脉冲周期，单位为 s，如 5s。

4.2.4 分段线性源

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的分段线性源元器件。

- VPWL：分段线性电压源。
- IPWL：分段线性电流源。

图 4-13 中是仿真库中的分段线性源元器件，使用该分段线性源可以创建任意形状的波形。在分段线性源的属性对话框中可设置如下参数。

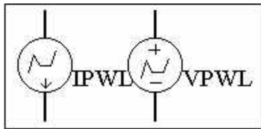


图 4-13　分段线性源元器件

- Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 INPUT。
- DC：此项将被忽略，在“Part Fields”选项卡设置。
- AC：如果欲在此电源上进行交流小信号分析，可设置此项（典型值为 1）。
- AC Phase：小信号的电压相位。
- Time/Voltage：这一对数为时间/幅值，输入由空格隔开的最多 8 对数。该对数的第一个数是单位为 s 的时间，第二个数为当时的电压或电流的幅值，如 0U 5V 5U 5V 12U 0V 50U 5V 60U 5V。
- File Name：包含分段线性源数据的外部文件。这一文件必须在同一目录下，文件的扩展名为“pwl”。

注意：分段线性源可通过两种途径获得数据。

如下为分段线性源获得数据的两种途径。

1）可以用一列多达 8 个点的数据描述这个波形，可以直接在属性对话框中输入。后面的点所定义的时间必须大于前面的点，否则，循环将终止。

2）可以通过一个 ASCII 码文本文件定义该波形，该文件包含不确定数目的点，该文件必须在同一目录下，同时该文件扩展名为“pwl”。该点的数据需成对输入。

格式为：时间位置后跟幅值（如图 4-14 所示）。

```
* Random Noise Data

+ 0.00000e-3  0.6667     0.00781e-3 0.6372     0.01563e-3 -0.1177
+ 0.02344e-3  -0.6058    0.03125e-3 0.2386     0.03906e-3 -1.1258
+ 0.04688e-3  1.6164     0.05469e-3 -0.3136    0.06250e-3 -1.0934
```

图 4-14　定义分段线性源的文本文件的数据

文件中每一个数据行的起始符必须是一脉冲符+，并且每一行包括最多 255 个字符。该文件中的值必须以一个或多个空格或按〈Tab〉键隔开。注解行的起始符必须是星号（*），如图 4-14 所示。

4.2.5 指数激励源

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的指数激励源元器件。

- VEXP：指数激励电压源。
- IEXP：指数激励电流源。

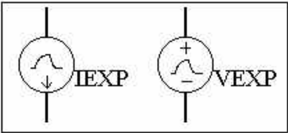


图 4-15 分段线性源元器件

图 4-15 中是仿真库中的分段线性源元器件，通过这些指数激励源可创建带有指数上升沿和（或）下降沿的脉冲波形。在指数激励源的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 INPUT。
- DC：忽略此项，在“Part Fields”选项卡设置。
- AC：如果欲在此电源上进行交流小信号分析，可设置此项（典型值为 1），在“Part Fields”选项卡设置。
- AC Phase：小信号的电压相位。
- Initial Value：时间为 0 时的电压或电流的幅值。
- Pulse Value：输出振幅的最大幅值。
- Rise Delay：上升延迟时间，即输出值从起始值到峰值间的时间差，单位为 s。
- Rise Time：上升时间常数。
- Fall Delay：下降延迟时间，即输出值从峰值到起始值间的时间差，单位为 s。
- Fall Time：下降时间常数。

4.2.6 单频调频源

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的单频调频源元器件。

- VSFFM：电压源。
- ISFFM：电流源。

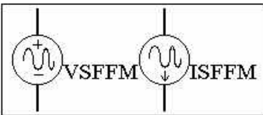


图 4-16 单频调频源

图 4-16 中是仿真库中的单频调频源元器件，通过这些单频调频源可创建一个单频调频波。在单频调频源的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 INPUT。
- DC：此项将被忽略。
- AC：如果欲在此电源上进行交流小信号分析，可设置此项（典型值为 1），在“Part Fields”选项卡设置。
- AC Phase：小信号的电压相位。
- OFFSET：偏置，如 2.5V。
- Amplitude：输出电压或电流的峰值，如 2.5V（A）。
- Carrier：载频，如 100kHz。
- Modulation：调制指数，如 5。

● Signal：调制信号频率，如 10kHz。

注意：波形将用如下的公式定义:

V（t） = VO +VA*sin（2*PI*Fc*t + MDI*sin（2*PI*Fs*t））

其中：t 为当时时间（s），VO 为偏置电压（V），VA 为峰值电压（V），Fc 为载频（Hz），MDI 为调制指数（V），Fs 为调制信号频率（Hz）。

4.2.7 线性受控源

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的线性受控源元器件。

● HSRC：线性电流控制电压源。
● GSRC：线性电压控制电流源。
● ESRC：线性电压控制电压源。
● FSRC：线性电流控制电流源。

图 4-17 是仿真器中包括的线性受控源元器件。

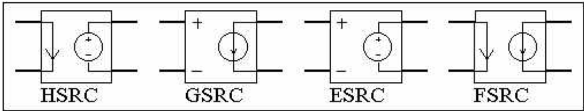


图 4-17 线性受控源元器件

以上是标准的 SPICE 线性受控源，每个线性受控源都有两个输入节点和两个输出节点。输出节点间的电压或电流是输入节点间的电压或电流的线性函数，一般由源的增益、跨导等决定。在线性受控源的属性对话框中可设置如下参数。

● Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 GSRC1。
● Part Type：对于线性电压控制电流源，设置跨导，单位为 S（西门子）。
● 对于线性电压控制电压源，设置电压增益，其量纲为 1。
● 对于线性电流控制电压源，设置互阻，单位为Ω。
● 对于线性电流控制电压源，设置电流增益，其量纲为 1。

4.2.8 非线性受控源

库 Simulation Symbols .lib 中包含了如下的非线性受控源元器件。

● BVSRC：电压源。
● BISRC：电流源。

图 4-18 是仿真器中包括的非线性受控源元器件。

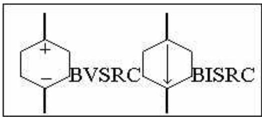


图 4-18 非线性受控源元器件

标准 SPICE 非线性电压或电流源，有时被称为方程定义源，因为它的输出由设计者的方程定义，并且经常引用电路中其他节点的电压或电流值。在线性受控源的属性对话框中可设置如下参数。

● Designator：设置所需的激励源元器件名称。
● Part Type：定义源波形的表达式，如 V(IN)^2。

注意：电压或电流波形为

V＝ 表达式　或　I＝ 表达式。

其中，表达式是在“Part Type”中输入的方程。

设计中可使用标准函数来创建一个表达式，表达式中也可包含如下的一些标准函数：

ABS　LN　SQRT　LOG　EXP　SIN　ASIN　ASINH　SINH　COS　ACOS　ACOSH　COSH　TAN　ATAN　ATANH

为了在表达式中引用所设计电路中节点的电压和电流，必须首先在原理图中为该节点定义一个网络标号。这样设计者就可以使用如下的语法来引用该节点。

V(NET)：表示在节点 NET 处的电压。

I(NET)：表示在节点 NET 处的电流。

假设已在电路图中定义了名为 IN 的网络标号，那么在“Part Type”中输入如下表达式将是有效的。

V(IN)^3

COS(V(IN))

如果函数 LOG( )、LN( )和 SQRT( )的参数小于零，那么将使用这个参数的绝对值。如果一个除数是零，或者函数 LOG( )和 LN( )的参数等于零，那么将返回错误信息。

4.2.9　频率/电压转换器

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的频率/电压转换器：FTOV。在频率/电压转换器的属性对话框中可设置如下参数。

- Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 FTOV1。
- VIL：输入门限低电平，在“Part Fields”选项卡设置。
- VIH：输入门限高电平。
- CYCLES：输出每伏电压周期数。

注意：输出的是电压，它是输入频率的线性函数。

4.2.10　压控振荡器（VCO）仿真源

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了如下的压控振荡源元器件。

- SINEVCO：压控正弦振荡器。
- SQRVCO：压控方波振荡器。
- TRIVCO：压控三角波振荡器。

图 4-19 是仿真器中包括的压控振荡源元器件。设计者可利用以上元器件在原理图中创建压控振荡器。在压控振荡器的属性对话框中可设置如下参数。

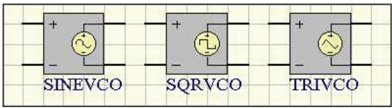


图 4-19　压控振荡源元器件

- Designator：设置所需的激励源元器件名称，如 SQRVCO1。
- LOW：输出最小值，默认为 0。

- HIGH：输出最大值，默认为 5。
- CYCLE：频宽比，为 0～1，默认为 0.5。该参数仅对压控方波振荡器和压控三角波振荡器。
- RISE：上升时间，默认为 1μs。该参数仅对压控方波振荡器。
- FALL：下降时间，默认为 1μs。该参数仅对压控方波振荡器。
- C1：输入控制电压点 1，默认为 0V。
- C2：输入控制电压点 2，默认为 1V。
- C3：输入控制电压点 3，默认为 2V。
- C4：输入控制电压点 4，默认为 3V。
- C5：输入控制电压点 5，默认为 4V。
- F1：输出频率点 1，默认为 0kHz。
- F2：输出频率点 2，默认为 1kHz。
- F3：输出频率点 3，默认为 2kHz。
- F4：输出频率点 4，默认为 3kHz。
- F5：输出频率点 5，默认为 4kHz。

4.3 初始状态的设置

初始状态是为计算偏置点而设定一个或多个电压（或电流值）。在模拟非线性电路、振荡电路及触发器电路的直流或瞬态特性时，常出现解的不收敛现象，当然实际电路是有解的。其原因是发散或收敛的偏置点不能适应多种情况。设置初始值最通常的原因就是在两个或更多的稳定工作点中选择一个，使模拟顺利进行。

库 Simulation Symbols .lib 中，包含了两个特别的初始状态定义符：NS NODESET（节点电压设置 NS）和 IC Initial Condition（初始条件设置 IC）。

4.3.1 节点电压设置 NS

该设置使指定的节点固定在所给定的电压下，仿真器按这些节点电压求得直流或瞬态的初始解。

该设置对双稳态或非稳态电路的计算收敛可能是必须的，它可使电路摆脱“停顿”状态，而进入所希望的状态。一般情况下，设置是不必要。

在节点电压的属性对话框中可进行如下设置。

- Designator：元器件名称，每个节点电压设置必须有唯一的标识符，如 NS 1。
- Part Type：节点电压的初始幅值，如 12V。

4.3.2 初始条件设置 IC

该设置是用来设置瞬态初始条件的，不要把该设置和上述的设置相混淆。“.NS”只是用来帮助直流解的收敛，并不影响最后的工作点（对多稳态电路除外）。“.IC”仅用于设置偏置点的初始条件，它不影响 DC 扫描。

瞬态分析中一旦设置了参数“Use Initial Conditions”和“.IC”，瞬态分析就先不进行直

流工作点的分析（初始瞬态值），因而应在该“.IC”中设定各点的直流电压。

如果瞬态分析中没有设置参数“Use Initial Conditions”，那么在瞬态分析前计算直流偏置（初始瞬态）解。这时，“.IC”设置中指定的节点电压仅作为求解直流工作点时相应节点的初始值。

在初始条件设置的属性对话框中可进行如下设置。

- Designator：元器件名称，每个初始条件设置必须有唯一的标识符，如 IC 1。
- Part Type：节点电压的初始幅值，如 5V。

注意：也可以通过设置每个元器件的属性来定义每个元器件的初始状态。同时，在每个元器件中规定的初始状态将优先于“.IC”设置中的值被考虑。

综上所述，初始状态的设置共有 3 种途径：“.IC”设置、“.NS”设置和定义元器件属性。在电路模拟中，如有这 3 种或两种共存时，在分析中优先考虑的次序是定义元器件属性、“.IC”设置、“.NS”设置。如果“.NS”和“.IC”共存时，则“.IC”设置将取代“.NS”设置。

4.4 仿真器的设置

在进行仿真前，必须要做的工作包括：确定对电路进行哪种分析，所要收集哪个变量数据，以及仿真完成后自动显示哪个变量的波形等。

4.4.1 进入分析主菜单

当完成了对电路的编辑后，就可对电路进行分析工作。

1）选择“Simulate”→“Setup”命令，进入仿真器的设置。

2）选择“Setup”命令，将打开“Analyses Setup（仿真器设置）”对话框，如图 4-20 所示。在“General”选项卡中，可以选择分析类别。

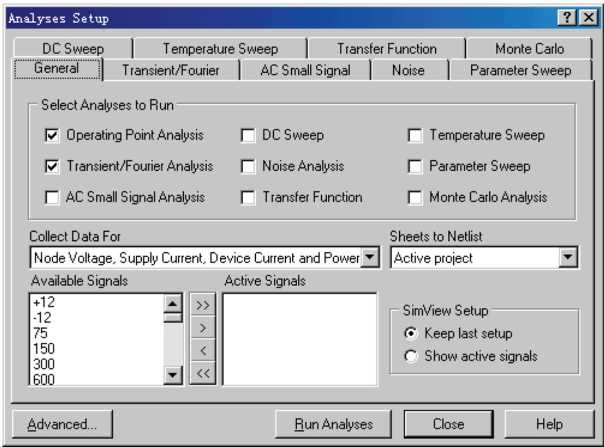


图 4-20 “Analyses Setup”对话框

4.4.2 瞬态特性分析

瞬态特性分析（Transient Analysis）是从时间零开始到规定的时间范围内进行的。可规定输出的开始到终止的时间和分析的步长，初始值可由直流分析部分自动确定，所有与时间无关的源，用它们的直流值，也可以用规定的各元器件的电平值作为初始条件进行瞬态分析。

瞬态分析的输出是在一个类似示波器的窗口中，在用户定义的时间间隔内计算变量瞬态输出电流值或电压值。如果不使用初始条件，则静态工作点分析将在瞬态分析前自动执行，以测得电路的直流偏置。

瞬态分析通常从时间零开始。在时间零和“Start Time（开始时间）”之间，瞬态分析照样进行，但并不保存结果。在“Start Time（开始时间）”和“Stop Time（终止时间）”的间隔内将保存结果，用于显示。

步长（Step Time）通常是用在瞬态分析中的时间增量。实际上，该步长不是固定不变的。采用变步长，是为了自动完成收敛。最大步长（Maximum Step）限制了分析瞬态数据时的时间片的变化量。

仿真时，如果设计者并不确定所需输入的值，可选择默认值，从而自动获得瞬态分析用参数。开始时间（Start Time）一般设置为零。Stop Time、Step Time 和 Maximum Step 将和显示周期（Cyller Displayed）、每周期中的点数以及电路激励源的最低频率有关。如选中“Always set defaults for transient”复选按钮，则每次仿真时将自动计算参数。

在 SIM 99 中设置瞬态分析的参数，可以通过单击“Transient/Fourier”选项卡，在如图 4-21 所示的“Analyses Setup”对话框的“Transient/Fourier”选项卡进行设置。

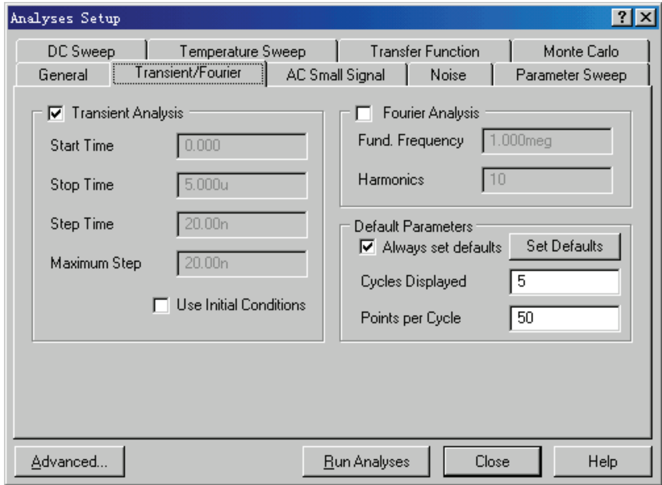


图 4-21 “Transient/Fourier”选项卡

4.4.3 傅里叶分析

傅里叶分析（Fourier Analysis）是计算了瞬态分析结果的一部分，得到基频、DC 分量和谐波。不是所有的瞬态结果都要用到，只用到瞬态分析终止时间之前基频的一个周期。若 PERIOD 是基频的周期，则 PERIOD＝1/FREQ，就是说，瞬态分析至少要持续

1/FREQ(s)。

如图 4-21 所示，要进行傅里叶分析，必须单击“Transient/Fourier”标签。在此选项卡中，可设置傅里叶分析的参数。

- Fund Frequency：傅里叶分析的基频。
- Harmonics：所需要的谐波数。

傅里叶分析中每次谐波的幅值和相位信息将保存在 Filename.sim 文件中。

4.4.4 交流小信号分析

交流小信号分析（AC Small Signal Analysis）将交流输出变量作为频率的函数计算出来。先计算电路的直流工作点，决定电路中所有非线性元器件的线性化小信号模型参数，然后在指定的频率范围内对该线性化电路进行分析。

交流小信号分析所希望的输出通常是一个传递函数，如电压增益、传输阻抗等。

SIM 99 中设置交流小信号分析的参数，可通过单击“AC Small Signal”标签来得如图 4-22 所示的“Ac Small Signal”选项卡。

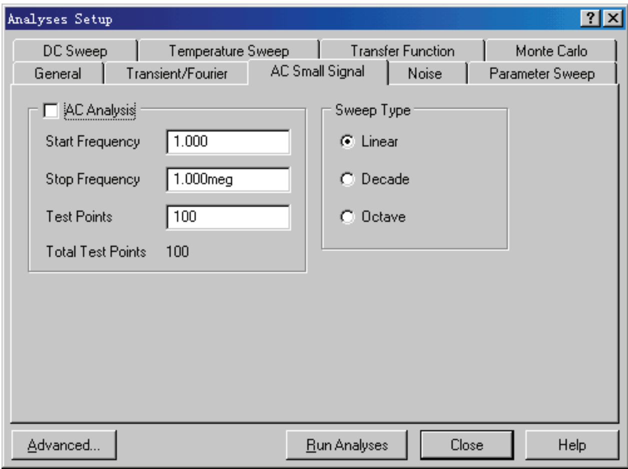


图 4-22 “Ac Small Signal”选项卡

图 4-22 中的扫描类型和测试点数目决定了频率的增量。关于它们的定义如表 4-3 所示。

表 4-3 扫描类型和测试点数的定义

扫 描 类 型	测试点数定义
Linear	定义了扫描中测试点总数
Decade	定义了扫描中每 10 次的测试点总数
Octave	定义了扫描中每 8 次的测试点总数

在进行交流小信号分析前，电路原理图必须包括至少一个交流源，且该交流源已适当设置过。

扫描正弦波的幅值和相位在原理图中的激励源属性对话框的“Part Field”中定义。

4.4.5 直流分析

直流分析（DC Sweep Analysis）产生直流转移曲线。直流分析将执行一系列的静态工作点的分析，从而改变前述定义的所选择源的电压。设置中，可定义可选辅助源。

SIM 99 中设置直流分析的参数，可通过单击“DC Sweep”标签来得到如图 4-23 所示的“DC Sweep”选项卡。

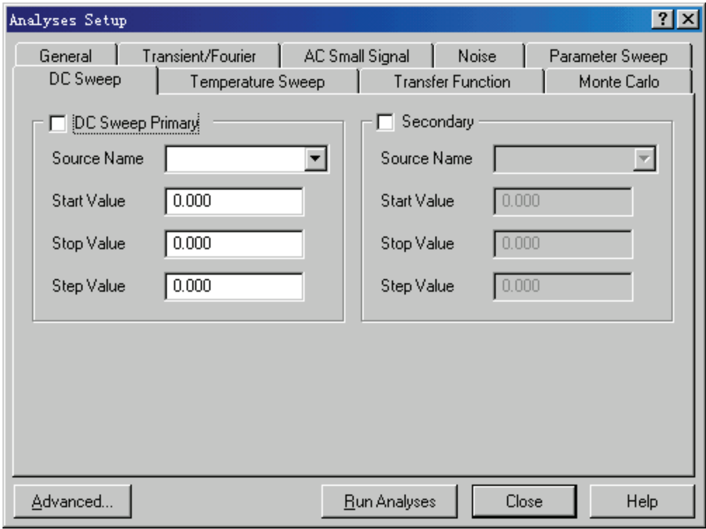


图 4-23 “DC Sweep”选项卡

图 4-23 中的“Source Name”定义了电路中的独立电源；“Start Value”“Stop Value”和“Step Value”定义了扫描范围和分辨率。

4.4.6 蒙特卡罗分析

蒙特卡罗分析（Monte Carlo Analysis）是使用随机数发生器按元器件值的概率分布来选择元器件，然后对电路进行模拟分析。所以蒙特卡罗分析可在元器件模型参数赋给的容差范围内，进行各种复杂的分析，包括直流分析、交流及瞬态特性分析。这些分析结果可以用来预测电路生产时的成品率及成本等。

SIM 99 中通过单击“Monte Carlo”标签来得到如图 4-24 所示的“Monte Carlo”选项卡。

蒙特卡罗分析是在给定电路中各元器件容差范围内的分布规律的条件下，用一组组的随机数对各元器件取值。SIM 99 中元器件的分布规律如下。

- Uniform：平直的分布，元器件值在定义的容差范围内统一分布。
- Gaussian：高斯曲线分布，中心的定义值并且容差为±3。
- Worst Case 与 Uniform 类似，但只使用该范围的结束点。

“Runs”选项为定义仿真数，如定义 5 次，则将在容差允许范围内，每次运行将使用不同的元器件值来仿真 5 次。如果希望用一系列的随机数来仿真，则可设置“Seed”选项，该项的默认值为-1。

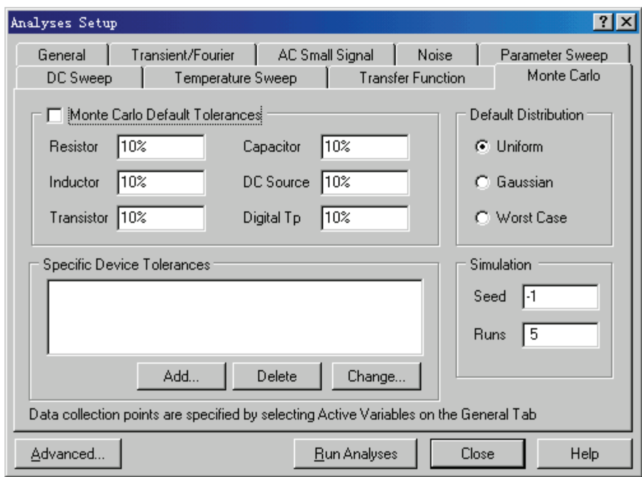


图 4-24 “Monte Carlo”选项卡

蒙特卡罗分析的关键在于产生随机数。随机数的产生依赖于计算机的具体字长。用一组随机数取出一组新的元器件值，然后对指定的电路进行模拟分析，只要进行的次数足够多，就可得出满足一定分布规律的、一定容差的元器件，在随机取值下的整个电路性能的统计分析。

4.4.7 扫描参数分析

扫描参数分析（Parameter Sweep Analysis）允许设计者以自定义的增幅扫描元器件的值。扫描参数分析可以改变基本的元器件和模式，但并不改变子电路的数据。

设置扫描参数分析的参数，可通过单击“Parameter Sweep”标签，得到如图 4-25 所示的“Parameter Sweep”选项卡。

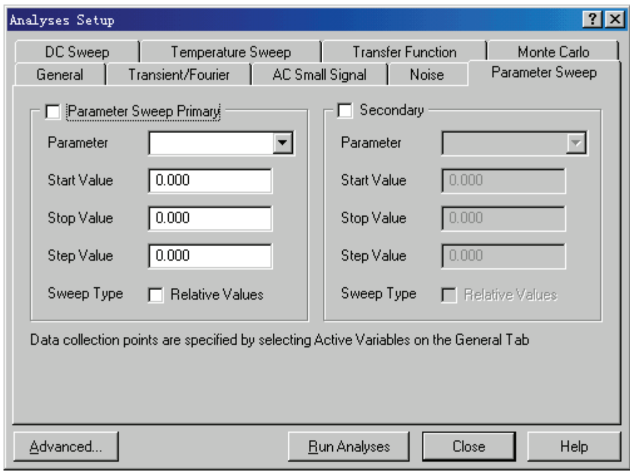


图 4-25 “Parameter Sweep”选项卡

在“Parameter”下拉列表中选择参数，该参数可以是一个单独的标识符，如 C2；也可以是带有元器件参数的标识符，如 U5[tp_val]。

“Start Value”和“Stop Value”定义了扫描的范围，“Step Value”定义了扫描的步幅。

选中“Relative Values”复选框，则将用户输入的上述值添加到已存在的参数中或作为默认值。

4.4.8　扫描温度分析

扫描温度分析（Temperature Sweep Analysis）是和交流小信号分析、直流分析及瞬态特性分析中的一种或几种相连的，该设置规定了进行模拟的温度。

设置扫描温度分析的参数，可通过单击“Temperature Sweep”标签，得如图 4-26 所示的“Temperature Sweep”选项卡。

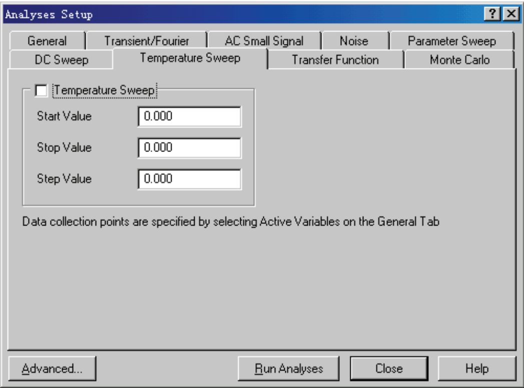


图 4-26　“Temperature Sweep”选项卡

“Start Value”和“Stop Value”定义了扫描的范围，“Step Value”定义了扫描的步幅。在仿真中，如要进行扫描温度分析，则必须定义相关的标准分析。扫描温度分析只能用在激活变量中定义的节点计算。

4.4.9　传递函数分析

设置传递函数分析的参数，可通过单击“Transfer Function”标签，得到如图 4-27 所示的“Transfer Function”选项卡。

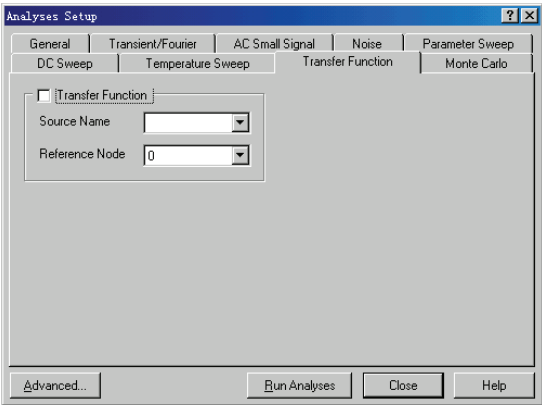


图 4-27　“Transfer Function”选项卡

传递函数分析计算直流输入阻抗、输出阻抗以及直流增益。

"Source Name"中定义了引用的输入源。"Reference Node"设置了源的参数。

4.4.10 噪声分析

噪声分析（Noise Analysis）是同交流分析一起进行的。电路中产生噪声的元器件有电阻器和半导体元器件，每个元器件的噪声源在交流小信号分析的每个频率计算出相应的噪声，并传送到一个输出节点。对所有传送到该节点的噪声进行 RMS（均方根）相加，就得到了指定输出端的等效输出噪声。同时计算出从输入源到输出端的电压（电流）增益，由输出噪声和增益就可得到等效输入噪声值。

设置噪声分析的参数，可通过单击"Noise"标签，得到如图 4-28 所示的"Noise"选项卡。

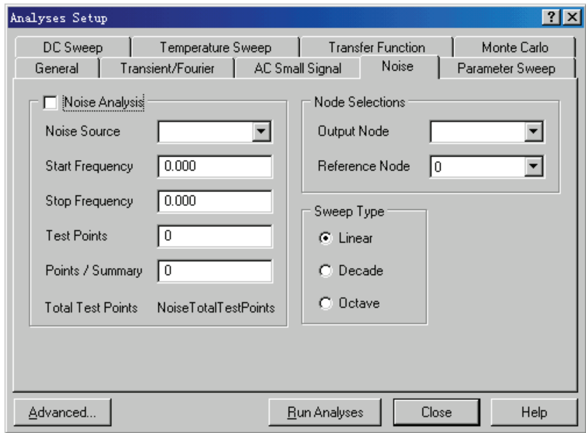


图 4-28 "Noise"选项卡

4.5 设计仿真原理图

采用 SIM 99 进行混合信号仿真的设计流程如图 4-29 所示。

在仿真原理图文件前，该原理图文件必须包含所有所需的信息。以下是为使仿真可靠运行而须遵守的一些规则。

- 所有的元器件须引用适当的仿真元器件模型。
- 必须放置和连接可靠的信号源，以便仿真过程中驱动整个电路。
- 在需要绘制仿真数据的节点处必须添加网络标号。
- 如果必要的话，必须定义仿真初始条件。

在接下来的几小节中，将简单介绍仿真用原理图的设计，在此，对于一般的操作将不做详细的介绍，读者可参阅本书中关于原理图设计的章节。

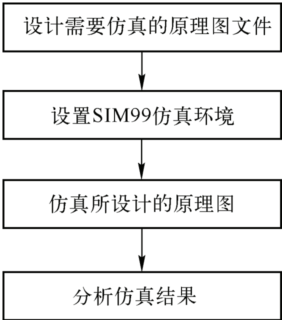


图 4-29 混合信号仿真的设计流程

4.5.1　调用元器件库

在 Protel 99 SE 中，默认的原理图库包含在一系列的设计数据库中，每个数据库中都有数目不等的原理图库。设计中，一旦加载数据库，则该数据库下的所有库都将列出来。原理图仿真用库在\Library\Sch\SIM.ddb 中。

在仿真用数据库 SIM.ddb 加载后，包含在 SIM.ddb 中的 28 个扩展名为“lib”的原理图库将在 Browse 栏内列出，如图 4-30 所示。

74xx.Lib	MOSFET.LIB
7SEGDISP.LIB	OpAmp.Lib
BJT.LIB	OPTO.LIB
BUFFER.LIB	REGULATOR.LIB
CAMP.LIB	Relay.Lib
CMOS.Lib	SCR.LIB
COMPARATOR.LIB	Simulation Symbols.Lib
CRYSTAL.LIB	SWITCH.LIB
DIODE.LIB	TIMER.LIB
IGBT.LIB	TRANSFORMER.LIB
JFET.LIB	TRANSLINE.LIB
MATH.LIB	TRIAC.LIB
MESFET.LIB	TUBE.LIB
Misc.Lib	UJT.LIB

图 4-30　SIM . ddb 中的 lib 库文件

4.5.2　选择仿真用原理图元器件

为了执行仿真分析，原理图中放置的所有部件都必须包含特别的仿真信息，以便仿真器正确对待所放置的所有部件。一般情况下，原理图中的部件必须引用适当的 SPICE 元器件模型。

创建仿真用原理图的简便方法是使用 Protel 仿真库中的部件。Protel 99 SE 包含了大约 6400 多个元器件模型，这些模型都是为仿真准备的。只要将它们放在原理图上，该元器件将自动地连接到相应的仿真模型文件上。在大多数情况下，用户只须从如图 4-30 所示的库中选择一个元器件，设定它的值，就可以进行仿真了。每个元器件包含了 SPICE 仿真用的所有的信息，包括标号前缀信息和多部分引脚的映射。

SPICE 支持很多其他的特性，允许用户更精确地塑造元器件行为，比如，定义一个电阻的操作温度等。这个额外的信息可以在元器件属性对话框中的“Part Fields”中修改。

通常，在进行电路仿真中，首先必须选择仿真用原理图元器件，最常用的仿真元器件如下。

- 激励源：给所设计电路一个合适的激励源，以便仿真器进行仿真。
- 添加网络标号：须在需要观测输出波形的节点处定义网络标号，以便于仿真器的识别。

4.5.3　仿真原理图

在设计完原理图后，对该原理图进行 ERC 检查，如有错误，返回原理图设计。

然后就需对该仿真器设置，决定对原理图进行何种分析，并确定该分析采用的参数。设置不正确，仿真器可能在仿真前报告警告信息，仿真后将仿真过程中的错误写入 Filename.err 文件中。

仿真完成后，将输出一系列的文件，供设计者对所设计的电路进行分析。具体的输出文件和具体的步骤详见下面的实例。

4.6　模拟电路仿真实例

下面将通过对一个简单模拟电路的仿真，具体说明 Protel 99 SE 中仿真器的使用。

1）生成原理图文件。这是进行仿真的基础和前提。在此实例中，采用如图 4-31 所示的模拟电路。

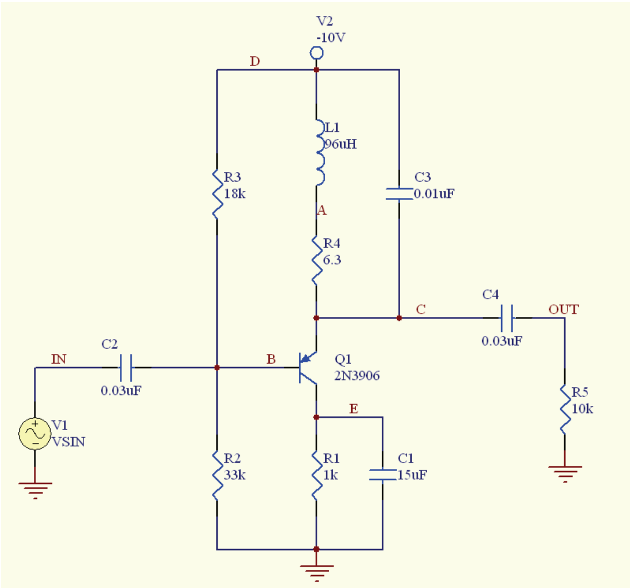


图 4-31 带通放大器电路实例

这是一个简单的带通放大器电路。一幅值为 100mV 的正弦波信号经过带通放大器后，可以得到放大的输出信号，并且相位也发生了变化。在此采用这一简单的电路，是希望更好地说明电路的仿真过程。

在该电路中定义了一个幅值为 100mV，频率为 200kHz 的正弦波激励源。同时，在需要显示波形的几处添加了网络标号，用于显示输入波形、输出波形以及一些中间波形。

2）设置仿真器。仿真的设置视具体的电路而定。在本次仿真中，采用如图 4-32 所示的仿真设置，选中“Show active signals”单选按钮。将对电路进行瞬态分析和交流小信号分析。

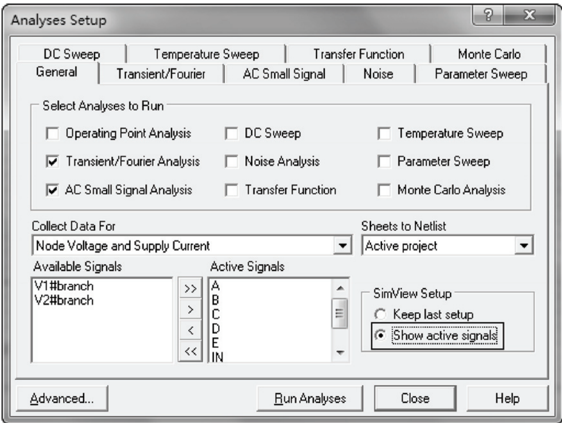


图 4-32 仿真该原理图时的仿真器设置

其中对于瞬态分析的设置如图 4-33 所示，仿真起始时间为 100μs、结束时间为 120μs、基频为 200kHz，其他设置如图所示。而对于交流小信号分析的设置如图 4-34 所示。

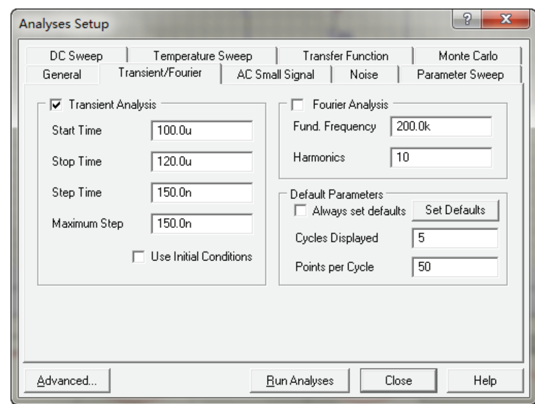


图 4-33　瞬态分析的设置

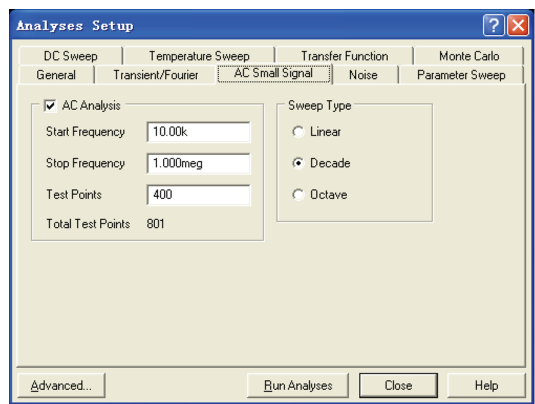


图 4-34　交流小信号分析的设置

设置完以后，单击“Run Analyses”按钮开始仿真，或单击“Close”按钮结束该设置。

在仿真设置后，将生成“*.cfg”文件。该文件以文本的方式记录下了仿真器的设置环境。配置文件是对应于仿真设置的，读者可一一对应。至于没有设置的仿真配置，配置文件中关于该设置的等式右边都为空，或为 0 或 False。

3）仿真器将输出仿真结果。仿真器的输出文件为“*.sdf”文件，“*.sdf”文件为输出波形的显示，如图 4-35 和图 4-36 为本实例的仿真波形显示。

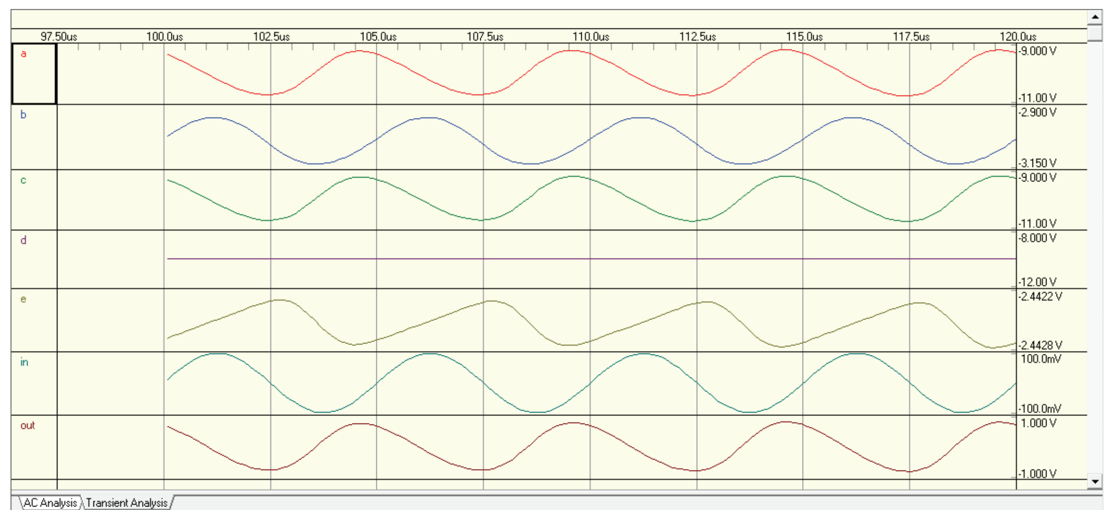


图 4-35　瞬态分析的仿真波形

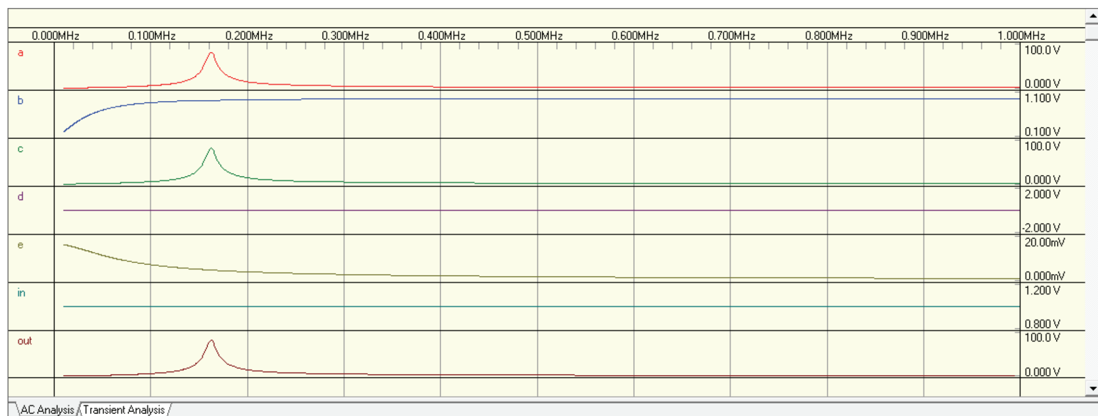


图 4-36　交流小信号的仿真波形

4）创建 SPICE 网络表。在电路仿真过程中，为了便于设计者通过该文件更好地完善原理图的设计，可以创建 SPICE 网络表。选择“Simulate”→“Create SPICE Netlist”命令，执行该命令后，仿真器就生成一个扩展名为“nsx”的文件（“nsx”文件为原理图的 SPICE 模式表示）。

打开“*.nsx”文件，系统切换到仿真器界面，此时选择“Simulate”→“Run”命令，即可实现电路仿真，这种方式和直接从电路原理图进行仿真生成的波形文件相同。

5）仿真数据浏览器。进入仿真波形显示区，系统会自动显示如图 4-37 所示的“Browse SimData”选项卡。下面进行简单介绍。

- “Waveforms”选项组内列出了所能显示的原理图中节点的波形，或某节点信号的多次谐波波形。该栏下的 3 个按钮“Show”“Hide”和“Color”分别用于显示波形、隐藏波形和改变波形颜色等，选中一个节点再单击相应的按钮即可实现所选节点处的波形观察。
- 仿真数据浏览器中的“View”选项组用于选择在波形显示界面中是显示“Single Cell（单一波形）”，还是显示“All Cells（所有波形）”。为更好地显示和比较波形，在此选择“All Cells”。

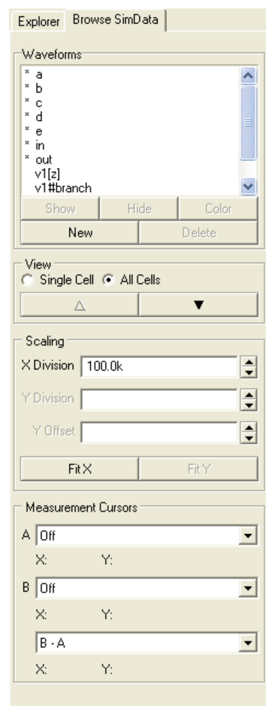


图 4-37　“Browse SimData”选项卡

- 在仿真数据浏览器中可选择波形时间上的增幅，以适应变化快的信号。

6）瞬态分析。下面将通过这个波形显示器显示仿真后的一系列的波形。对原理图进行瞬态分析后，可得到如下的一些信号波形。

输入信号 IN 的波形，如图 4-38 所示，该输入信号的频率为 200kHz，幅值为 100mV 的正弦波信号。输出端 OUT 的信号波形如图 4-39 所示。

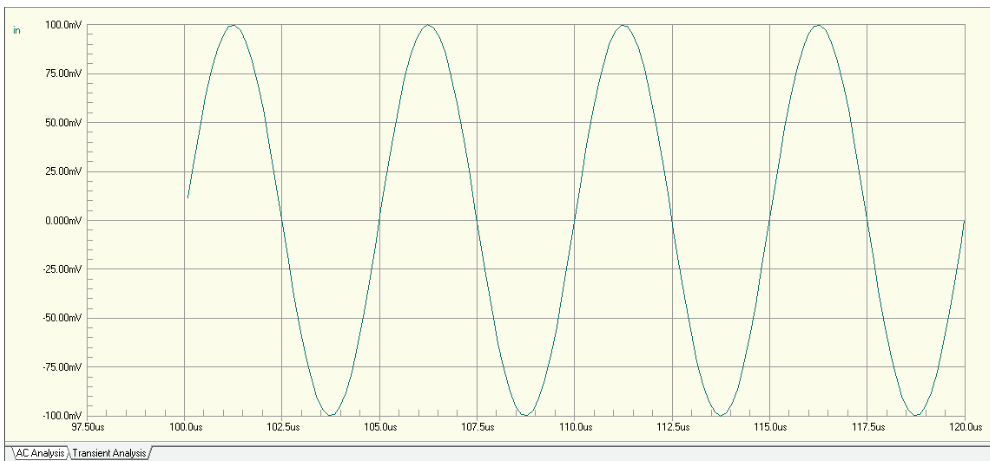


图 4-38　输入的周期正弦波信号

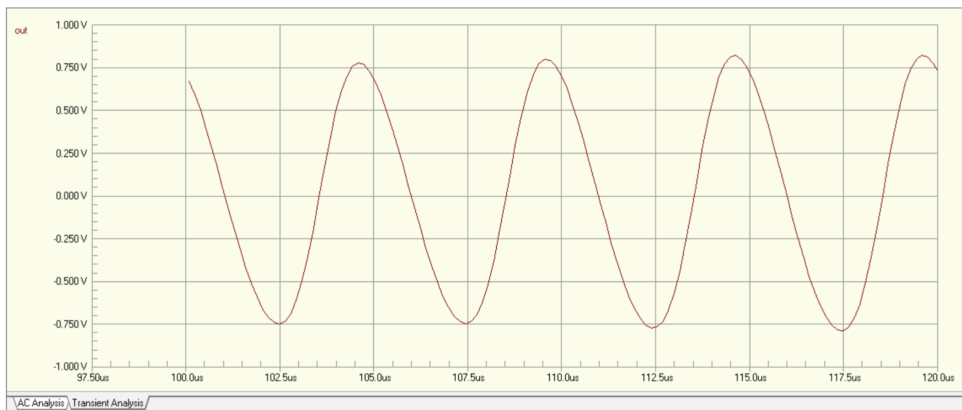


图 4-39　输出带通放大波形

7）交流小信号分析。对原电路进行交流小信号分析后，可得如图 4-36 所示的波形。输出端的交流小信号分析波形显示在单独的窗口时，如图 4-40 所示。

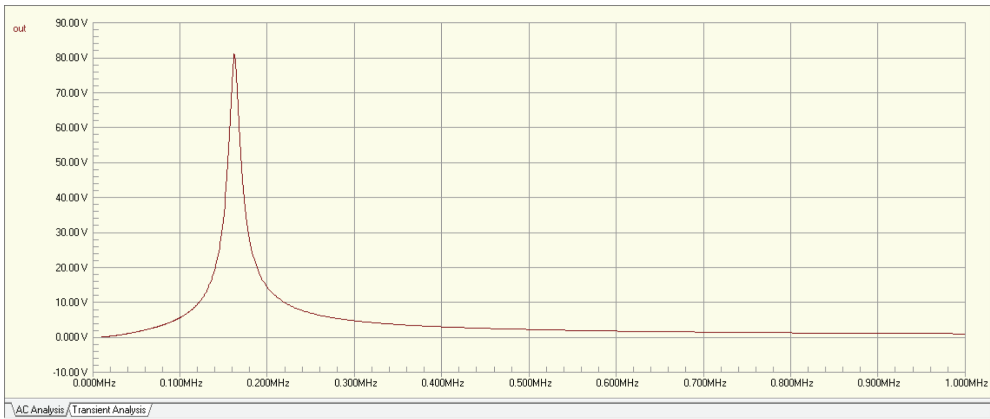


图 4-40　输出端的交流小信号分析波形

关于原理图的其他仿真，在此不再全部进行列出。读者可参考上述的例子和步骤进行操作。

8）通过仿真验证原理图的设计。

仿真器输出了一系列的波形。借助这些波形，用户可以很方便地发现设计中的不足和问题。从而，不必经过实际的制板，就可完全了解所设计原理图的电气特性。

4.7　数字电路仿真实例

在实际应用中，除了模拟电路外，还有数字电路和数字–模拟混合电路。与模拟电路不同，在数字电路中，设计者主要关心的是各数字节点的逻辑状态（也称逻辑电平）。

数字节点就是仅与数字电路元器件相连的节点，仿真该电路的结果就是计算电路中各个节点的值，对于数字节点，这些值就是逻辑电平（如“1”“0”“X”）。

1）绘制原理图。在此例中，采用如图 4–41 所示的数字–模拟混合电路。该电路用来显示一个 BCD 码。电路的前部分是数字电路部分，后部分是模拟电路部分。该电路可以从 Protel 99 SE 的仿真实例目录中找到。

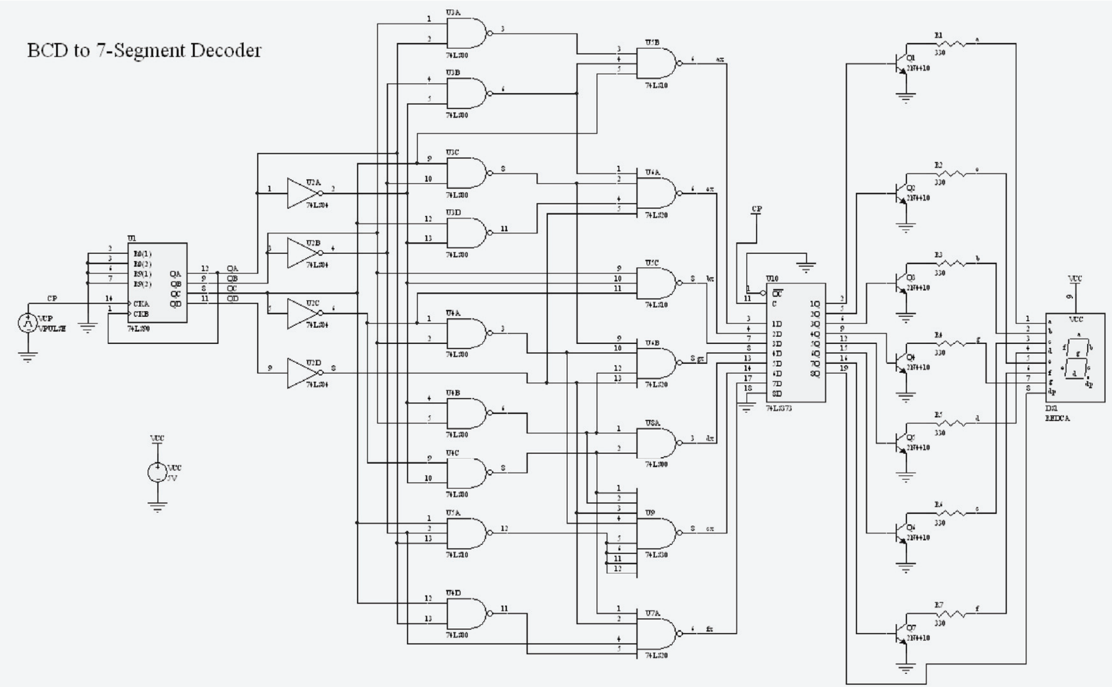


图 4–41　一个数字–模拟混合电路实例

2）仿真器的设置。与上例不同的是，数字/模拟混合电路将不进行静态工作点的分析，在此仅选择瞬态分析，其他的分析以此类推。仿真器的设置如图 4–42 所示，瞬态分析设置如图 4–43 所示。

3）仿真器输出的仿真结果。采用如图 4–43 所示的设置完成仿真后，仿真器将输出“*.sdf”文件，即输出波形。

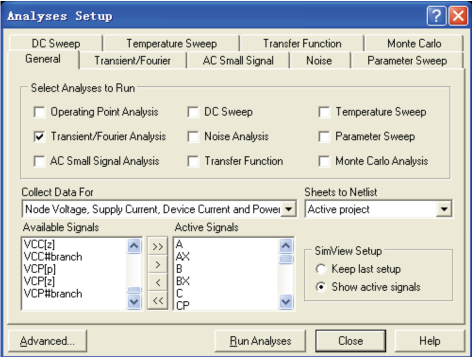


图 4-42 “General”选项卡

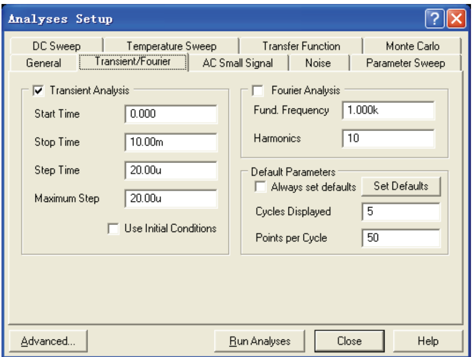


图 4-43 “Transient/Fourier”选项卡

如果选择“Simulate”→“Create SPICE Netlist”命令，则会生成“*.nsx”文件（原理图的 SPICE 模式表示）。

4）通过该文件的波形显示，可以更清楚地了解原理图电路的时序关系。例如本实例的仿真中，74LS90 的输出波形如图 4-44 所示。当图 4-44 的输出信号经过一系列的数字逻辑运算以后，锁存器 74LS373 的输入信号如图 4-45 所示，而 7 段 LED 输入端的信号如图 4-46 所示。

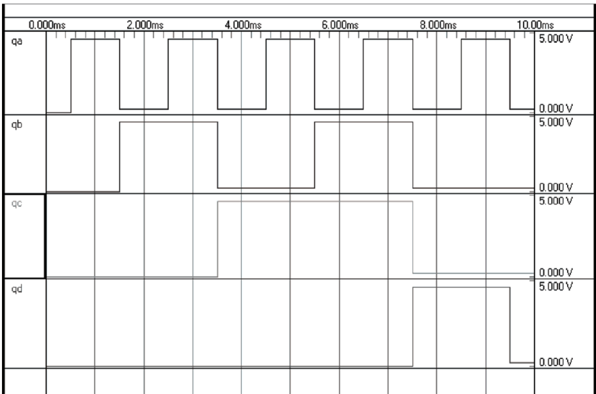


图 4-44 74LS90 的输出波形

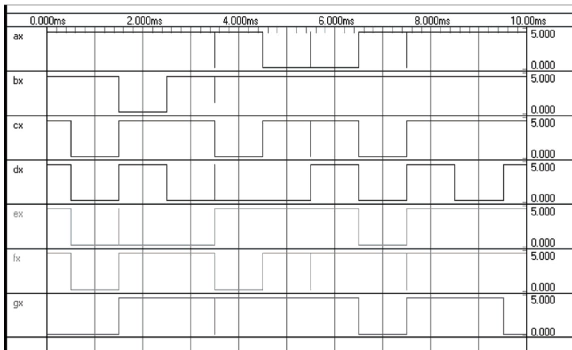


图 4-45 锁存器 74LS373 的输入信号

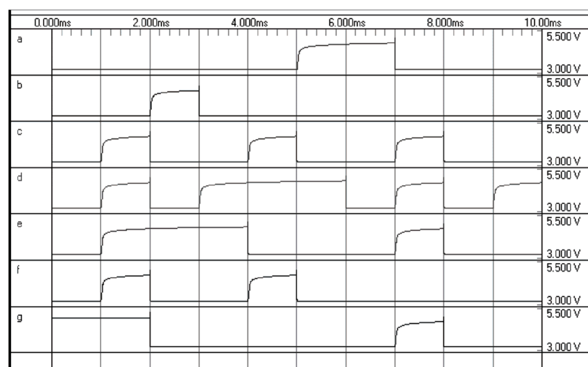


图 4-46　7 段 LED 输入端的信号

综上所述，SIM 99 提供了一种很方便的电路仿真操作。通过该仿真程序，用户可以在制作 PCB 前发现原理图设计中可能存在的问题，减少重复设计的可能性。

习题

1．简述进行电路原理图仿真的一般步骤。

2．绘制如图 4-47 所示的差分放大器仿真原理图，并对 IN 和 OUT 信号进行仿真。

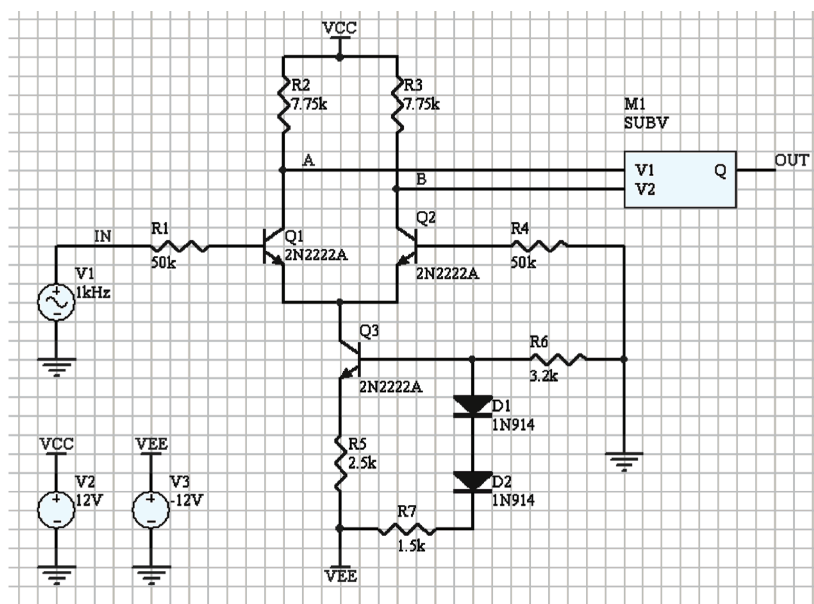


图 4-47　差分放大器仿真原理图

第 5 章　印制电路板设计基础

本章主要讲述与印制电路板（PCB）设计密切相关的一些基本概念，包括印制电路板的结构以及经常在 PCB 设计时使用到的一些相关概念，如元器件封装、飞线、导线、焊盘、盲孔和过孔等，再结合 Protel 软件的使用，讲述一些基本的操作方法，以及元器件封装的绘制。

5.1　印制电路板基础

在用 PCB 系统进行设计前，先了解一下印制电路板的结构，理解一些基本概念，尤其是涉及布线规则时，这些概念很重要。

5.1.1　印制电路板结构

一般来说，印制电路板的结构有单面板、双面板和多层板 3 种。

1）单面板。单面板是一种一面有敷铜，另一面没有敷铜的电路板，用户只可在敷铜的一面布线并放置元器件。单面板由于其成本低，不用打过孔而被广泛应用。由于单面板走线只能在一面上进行，因此，它的设计往往比双面板或多层板困难得多。

2）双面板。双面板包括“Top Layer（顶层）”和“Bottom Layer（底层）”两层，顶层一般为元器件面，底层一般为焊锡层面，双面板的双面都可以敷铜，都可以布线。双面板的电路一般比单面板的电路复杂，但布线比较容易，是制作电路板比较理想的选择。

3）多层板。多层板就是包含了多个工作层的电路板。除了上面讲到的顶层、底层以外，还包括中间层、内部电源或接地层等。随着电子技术的高速发展，电子产品越来越精密，电路板也就越来越复杂，多层电路板的应用也越来越广泛。多层电路板一般指三层以上的电路板。

5.1.2　元器件封装

通常设计完印制电路板后，将它拿到专门的制板公司进行电路板的制作。取回制好的电路板后，要将元器件焊接上去。那么如何保证取用元器件的引脚和印制电路板上的焊盘一致呢？那就得靠元器件封装了。

元器件封装是指元器件焊接到电路板时所指的外观和焊盘位置。既然元器件封装只是元器件的外观和焊盘位置，那么纯粹的元器件封装仅仅是空间的概念，因此，不同的元器件可以共用同一个元器件封装；另一方面，同种元器件也可以有不同的封装，如 RES 代表电阻，它的封装形式可以是 AXIAL-0.4、C1608-0603、CR2012-0805 等。所以在取用焊接元器件时，不仅要知道元器件名称，还要知道元器件的封装。元器件的封装可以在设计原理图

时指定，也可以在引进网络表时指定。

注意： 通常在放置元器件时，应该参考该元器件生产单位提供的数据书册，选择正确的封装形式，如果 Protel 没有提供这种封装的话，可以自己按照数据手册绘制。

1．元器件封装的分类

元器件的封装形式可以分成两大类：针脚式元器件封装和 SMT（表面贴装技术）元器件封装。针脚式封装元器件焊接时先要将元器件针脚插入焊盘导通孔，然后再焊锡。由于针脚式元器件封装的焊盘和过孔贯穿整个电路板，所以在其焊盘的属性对话框中，PCB 的层属性必须为 Multi Layer（多层）。SMT 元器件封装的焊盘只限于表面层，在其焊盘的属性对话框中，Layer 层属性必须为单一表面，如 Top layer 或者 Bottom layer。

下面讲述最常见的两种封装，它们分别属于针脚式元器件封装和 SMT（表面贴装式）元器件封装。

1）DIP 封装。双列直插封装（Dual In-line Package，DIP），属于针脚式元器件封装，如图 5-1 所示。DIP 封装结构具有适合 PCB 的穿孔安装、易于对 PCB 布线和操作方便等特点。

DIP 封装结构形式有:多层陶瓷双列直插式 DIP，单层陶瓷双列直插式 DIP，引线框架式 DIP（含玻璃陶瓷封接式、塑料包封结构式和陶瓷低熔玻璃封装式）。

2）芯片载体封装。属于 SMT（表面安装技术）元器件封装。芯片载体封装有陶瓷无引线芯片载体（Leadless Ceramic Chip Carrier，LCCC）（如图 5-2 所示）、塑料有引线芯片载体（Plastic Leaded Chip Carrier，PLCC）（如图 5-3 所示，与 LCCC 相似）、小尺寸封装（Small Outline Package，SOP）（如图 5-4 所示）、塑料四边引出扁平封装（Plastic Quad Flat Package，PQFP）（如图 5-5 所示）和球栅阵列（Ball Grid Array，BGA）封装（如图 5-6 所示）。与 PLCC 或 PQFP 封装相比，BGA 封装更加节省电路板面积。。

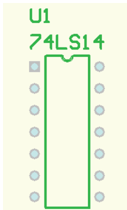


图 5-1　双列直插封装

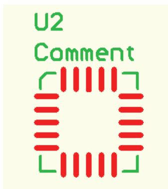


图 5-2　LCCC 封装

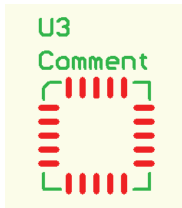


图 5-3　PLCC 封装

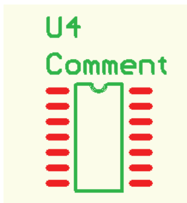


图 5-4　SOP 封装

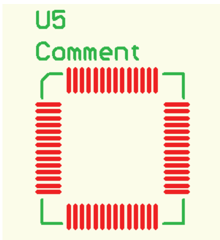


图 5-5　PQFP 封装

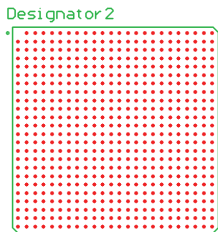


图 5-6　BGA 封装

说明：SOP 和 PQFP 一般采用 SMT。

2．元器件封装的编号

元器件封装的编号一般为元器件类型+焊盘距离（焊盘数）+元器件外形尺寸。可以根据元器件封装编号来判别元器件封装的规格。如 AXIAL-0.4 表示此元器件封装为轴状的，两焊盘间的距离为 400mil（约等于 10mm）；DIP16 表示双排引脚的元器件封装，两排共 16 个引脚；RB.2/.4 表示极性电容类元器件封装，引脚间距离为 200mil，元器件直径为 400mil。这里“.2”和“0.2”都表示 200mil。

说明：Protel 可以使用两种单位，即英制和公制。英制单位为 inch（英寸），在 Protel 中一般使用的 mil，即微英寸，1/1000 in。公制单位一般为 mm（毫米），1 inch=25.4mm，而 1mil=0.0254mm。本书中可能会出现 mil 和 mm 两种单位，请注意换算。

5.1.3 铜膜导线

铜膜导线也称铜膜走线，简称导线，用于连接各个焊盘，是印制电路板最重要的部分。印制电路板设计都是围绕如何布置导线来进行的。

与导线有关的另外一种线，常称之为飞线，即预拉线，飞线是在引入网络表后系统根据规则生成的，用来指引布线的一种连线。

飞线与导线有本质的区别，飞线只是一种形式上的连线。它只是在形式上表示出各个焊盘间的连接关系，没有电气的连接意义。导线则是根据飞线指示的焊盘间的连接关系而布置的，是具有电气连接意义的连接线路。

5.1.4 助焊膜和阻焊膜

各类膜（Mask）不仅是 PCB 制作工艺过程中必不可少的，而且更是元器件焊装的必要条件。按“膜”所处的位置及其作用，“膜”可分为元器件面（或焊接面）助焊膜（TOP or Bottom Solder）和元器件面（或焊接面）阻焊膜（TOP or Bottom Paste Mask）两类。助焊膜是涂于焊盘上，提高可焊性能的一层膜，也就是在绿色板子上比焊盘略大的浅色圆。阻焊膜的情况正好相反，为了使制成的板子适应波峰焊等焊接形式，要求板子上非焊盘处的铜箔不能粘锡，因此在焊盘以外的各部位都要涂覆一层涂料，用于阻止这些部位上锡。可见，这两种膜是一种互补关系。

5.1.5 层

Protel 的“层”不是虚拟的，而是印制板材料本身实实在在的铜箔层。现今，由于电子线路的元器件密集安装、抗干扰和布线等特殊要求，一些较新的电子产品中所用的印制板不仅上下两面可供走线，在板的中间还设有能被特殊加工的夹层铜箔。例如，现在的计算机主板所用的印制板材料大多在 4 层以上。这些层因加工相对较难而大多用于设置走线较为简单的电源布线层（Ground Dever 和 Power Dever），并常用大面积填充的办法来布线（如 Fill）。上下位置的表面层与中间各层需要连通的地方用“过孔（Via）”来沟通。需要注意的是，一旦选定了所用印制板的层数，务必关闭那些未被使用的层，以免布线出现差错。

5.1.6 焊盘和过孔

（1）Pad（焊盘）

焊盘的作用是放置焊锡、连接导线和元器件引脚。焊盘是 PCB 设计中最常接触也是最重要的概念。选择元器件的焊盘类型要综合考虑该元器件的形状、大小、布置形式、振动和受热情况、受力方向等因素。Protel 在封装库中给出了一系列不同大小和形状的焊盘，如圆、方、八角、圆方和定位用焊盘等，但有时这还不够用，需要自己编辑。例如，对发热且受力较大、电流较大的焊盘，可自行设计成“泪滴状”。一般而言，自行编辑焊盘时除了以上所讲的外，还要考虑以下原则。

- 形状上长短不一致时，要考虑连线宽度与焊盘特定边长的大小差异不能过大。
- 需要在元器件引脚之间走线时，选用长短不对称的焊盘往往事半功倍。
- 各元器件焊盘孔的大小要按元器件引脚粗细分别编辑确定，原则是孔的尺寸比引脚直径大 0.2～0.4mm。

（2）Via（过孔）

为连通各层之间的线路，在各层需要连通的导线的交汇处钻上一个公共孔，这就是过孔。过孔有 3 种，即从顶层贯通到底层的穿透式过孔、从顶层通到内层或从内层通到底层的盲过孔以及内层间的隐藏过孔。

过孔从上面看上去，有两个尺寸，即通孔直径和过孔直径，如图 5-7 所示。通孔和过孔之间的孔壁，用于连接不同层的导线。

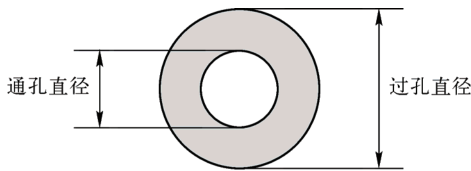


图 5-7　过孔尺寸

一般而言，设计线路时对过孔处理有以下原则。

- 尽量少用过孔，一旦选用了过孔，务必处理好它与周边各实体的间隙，特别是容易被忽视的中间各层与过孔不相连的线与过孔的间隙。
- 需要的载流量越大，所需的过孔尺寸越大，如电源层和地层与其他层连接所用的过孔就要大一些。

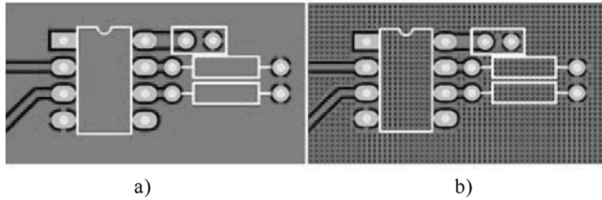
5.1.7 丝印层

为方便电路的安装和维修，在印制电路板的上下两表面印上所需要的标志图案和文字代号等，例如元器件标号和标称值、元器件外廓形状和厂家标志、生产日期等，这就称为丝印层（Silkscreen Top/Bottom Overlay）。正确的丝印层字符布置原则是：“不出歧义，见缝插针，美观大方”。

5.1.8 敷铜

对于抗干扰要求比较高的 PCB，常常需要在其上敷铜。敷铜可以有效地实现电路板的信号屏蔽作用，提高电路板信号抗电磁干扰的能力。通常敷铜有两种方式，一种是实心填充方式，另一种是网格状的填充，如图 5-8 所示。在实际应用中，实心式的填充比网格状的更好，建议使用实心式的填充方式。

注意：建议对抗干扰要求比较高的 PCB 进行敷铜处理。



a)　　　　　　　　　　b)

图 5-8　敷铜的填充方式

a) 实心填充方式　b) 网格状填充方式

5.2　PCB 设计的基本原则

PCB 设计的好坏对电路板抗干扰能力影响很大。因此，在进行 PCB 设计时．必须遵守 PCB 设计的一般原则，并应符合抗干扰设计的要求。要使电子电路获得最佳性能，元器件的布局及导线的布设是很重要的。为了设计出质量好、造价低的 PCB，应遵循下面的一般原则。

5.2.1　布局

首先，要考虑 PCB 尺寸大小。PCB 尺寸过大时，印制线路长，阻抗增加，抗噪声能力下降，成本也增加；过小，则散热不好，且邻近线条易受干扰。在确定 PCB 尺寸后，再确定特殊元器件的位置。最后，根据电路的功能单元，对电路的全部元器件进行布局。

1）在确定特殊元器件的位置时要遵守以下原则。

- 尽可能缩短高频元器件之间的连线，设法减少它们的分布参数和相互间的电磁干扰。易受干扰的元器件不能相互挨得太近，输入和输出元器件应尽量远离。
- 某些元器件或导线之间可能有较高的电位差，应加大它们之间的距离，以免放电引出意外短路。带强电的元器件应尽量布置在调试时手不易触及的地方。
- 重量超过 15g 的元器件，应当用支架加以固定，然后焊接。那些又大又重、发热量多的元器件，不宜装在印制板上，而应装在整机的机箱底板上，且应考虑散热问题。热敏元器件应远离发热元器件。
- 对于电位器、可调电感线圈、可变电容器、微动开关等可调元器件的布局应考虑整机的结构要求。若是机内调节，应放在印制板上方便于调节的地方；若是机外调节，其位置要与调节旋钮在机箱面板上的位置相适应。
- 应留出印制板的定位孔和固定支架所占用的位置。

2）根据电路的功能单元对电路的全部元器件进行布局时，要符合以下原则。

- 按照电路的流程安排各个功能电路单元的位置，使布局便于信号流通，并使信号尽可能保持一致的方向。
- 以每个功能电路的核心元器件为中心，围绕它来进行布局。元器件应均匀、整齐、紧凑地排列在 PCB 上，尽量减少和缩短各元器件之间的引线和连接。
- 在高频下工作的电路，要考虑元器件之间的分布参数。一般电路应尽可能使元器件平行排列。这样，不但美观，而且焊接容易，易于批量生产。
- 位于电路板边缘的元器件，离电路板边缘一般不小于 2mm。电路板的最佳形状为矩

形，长宽比为 3:2 或 4:3。电路板面尺寸大于 200mm×150mm 时，应考虑板所受的机械强度。

另外，板厚也可以按照推荐指定。对于 FR4 材料来说，一般标准的板厚为 0.062"（1.575mm）。其他典型的板厚有 0.010"（0.254mm）、0.020"（0.508mm）、0.031"（0.787mm）和 0.092"（2.337mm）。

5.2.2 布线

布线的方法以及布线的结果对 PCB 的性能影响也很大，一般布线要遵循以下原则。

1）输入和输出端的导线应避免相邻平行。最好添加线间地线，以免发生反馈耦合。

2）印制板导线的最小宽度主要由导线与绝缘基板间的黏附强度和流过它们的电流值决定。 导线宽度应以能满足电气性能要求而又便于生产为宜，它的最小值由承受的电流大小而定，但最小不宜小于 0.2mm，在高密度、高精度的印制线路中，导线宽度和间距一般可取 0.3mm；导线宽度在大电流情况下还要考虑其温升，单面板实验表明，当铜箔厚度为 50μm、导线宽度 1～1.5mm、通过电流 2A 时，温升很小，因此，一般选用 1～1.5mm 宽度的导线就可能满足设计要求而不致引起温升；印制导线的公共地线应尽可能地粗，可能的话，使用宽度大于 2～3mm 的导线。这点在带有微处理器的电路中尤为重要，因为当地线过细时，由于流过的电流的变化，地电位变动，微处理器定时信号的电平不稳，会使噪声容限劣化；在 DIP 封装的 IC 引脚间走线，可应用 10-10 与 12-12 原则，即当两脚间通过 2 根线时，焊盘直径可设为 50mil （1mil=0.0254mm）、线宽与线距都为 10mil；当两脚间只通过 1 根线时，焊盘直径可设为 64mil、线宽与线距都为 12mil。

表 5-1 列出了线宽和流过电流大小之间的关系参考。读者可以在后面章节学习 PCB 布线时参考。

表 5-1 线宽和流过电流大小之间的关系

电流/A	1oz 铜的线宽/mil	2oz 铜的线宽/mil	单位长度的电阻 mΩ/in
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

3）PCB 导线拐弯一般取圆弧形，而直角或夹角在高频电路中会影响电气性能。此外，尽量避免使用大面积铜箔，否则长时间受热，易发生铜箔膨胀和脱落现象。必须用大面积铜箔时，最好用栅格状。这样有利于排除铜箔与基板间黏合剂受热产生的挥发性气体。

4）PCB 导线的间距。相邻导线间距必须能满足电气安全要求，而且为了便于操作和生

产，间距也应尽量宽些，只要工艺允许，可使间距小于 0.5～0.8mm。最小间距至少要能适合承受的电压，这个电压一般包括工作电压、附加波动电压以及其他原因引起的峰值电压。如果有关技术条件允许导线之间存在某种程度的金属残粒，则其间距就会减小。因此在考虑电压时应把这种因素考虑进去。在布线密度较低时，信号线的间距可适当地加大，对高、低电平悬殊的信号线应尽可能短且加大间距。

表 5-2 列出了推荐的导线以及导体之间的间距，根据电压和导线所在位置的不同，其间距也不同。

表 5-2 推荐的导线以及导体之间的间距

电压（DC 或 AC 峰值）/V	PCB 内部/mm	PCB 外部（<3050m）/mm	PCB 外部（>3050m）/mm
0～15	0.05	0.1	0.1
16～30	0.05	0.1	0.1
31～50	0.1	0.6	0.6
51～100	0.1	0.6	1.5
101～150	0.2	0.6	3.2
151～170	0.2	1.25	3.2
171～250	0.2	1.25	6.4
251～300	0.2	1.25	12.5
301～500	0.25	2.5	12.5

5.2.3 焊盘大小

焊盘的直径和内孔尺寸：焊盘的内孔尺寸必须从元器件引线直径和公差尺寸以及焊锡层厚度、孔径公差、孔金属电镀层厚度等方面考虑，焊盘的内孔一般不小于 0.6mm，因为小于 0.6mm 的孔开模冲孔时不易加工，通常情况下以金属引脚直径+0.2mm 作为焊盘内孔直径，如电阻的金属引脚直径为 0.5mm 时，其焊盘内孔直径对应为 0.7mm，焊盘直径取决于内孔直径。

1）当焊盘直径为 1.5mm 时，为了增加焊盘抗剥强度，可采用长不小于 1.5mm，宽为 1.5mm 和长方形焊盘，此种焊盘在集成电路引脚焊盘中最常见。对于超出表 5-2 范围的焊盘直径可用下列公式选取。

- 直径小于 0.4mm 的孔：$D/d=0.5\sim3$（D——焊盘直径；d——内孔直径）。
- 直径大于 2mm 的孔：$D/d=1.5\sim2$

2）有关焊盘的其他注意事项。

- 焊盘内孔边缘到印制板边的距离要大于 1mm，这样可以避免加工时导致焊盘缺损。
- 焊盘的开口：有些元器件是在经过波峰焊后补焊的，但由于经过波峰焊后焊盘内孔被锡封住，使元器件无法插下去，解决办法是在印制板加工时对该焊盘开一小口，这样波峰焊时内孔就不会被封住，而且也不会影响正常的焊接。
- 焊盘补泪滴：当与焊盘连接的走线较细时，要将焊盘与走线之间的连接设计成水滴状，这样的好处是焊盘不容易起皮，而是走线与焊盘不易断开。
- 相邻的焊盘要避免成锐角或大面积的铜箔，成锐角会造成波峰焊困难，而且有桥接的危险，大面积铜箔因散热过快会导致不易焊接。

5.2.4 印制电路板电路的抗干扰措施

印制电路板的抗干扰设计与具体电路有着密切的关系，这里仅就 PCB 抗干扰设计的几项常用措施做一些说明。

1）电源线设计。根据印制电路板电流的大小，尽量加粗电源线宽度，减少环路电阻。同时，使电源线、地线的走向和数据传递的方向一致，这样有助于增强抗噪声能力。

2）地线设计。地线设计的原则如下所述。

- 数字地与模拟地分开。若电路板上既有逻辑电路又有线性电路，应使它们尽量分开。低频电路的地应尽量采用单点并联接地，实际布线有困难时可部分串联后再并联接地。高频电路宜采用多点串联接地，地线应短而粗，高频元器件周围尽量用栅格状的大面积铜箔。
- 接地线应尽量加粗。若接地线用很细的线条，则接地电位随电流的变化而变化，使抗噪声性能降低。因此应将接地线加粗，使它能通过三倍于 PCB 上的允许电流。如有可能，接地线应在 2～3mm 以上。
- 接地线构成闭环路。只由数字电路组成的 PCB，其接地电路构成闭环能提高抗噪声能力。

3）大面积敷铜。印制电路板上的大面积敷铜具有两种作用：一为散热；二为减小地线阻抗，并且屏蔽电路板的信号交叉干扰以提高电路系统的抗干扰能力。

注意：*初学者设计印制电路板时常犯的一个错误是大面积敷铜上不开窗口，而由于印制电路板板材的基板与铜箔间的黏合剂在浸焊或长时间受热时，会产生挥发性气体无法排除，热量不易散发，以致产生铜箔膨胀、脱落现象。因此使用大面积敷铜时，应将其开窗口设计成栅格状。*

5.2.5 去耦电容配置

PCB 设计的常规做法之一是在印制电路板的各个关键部位配置适当的去耦电容。去耦电容的一般配置原则如下。

1）电源输入端跨接 10～100μF 的电解电容器。如有可能，接 100μF 以上的更好。

2）原则上每个集成电路芯片都应布置一个 0.01pF 的瓷片电容，如遇印制电路板空隙不够，可每 4～8 个芯片布置一个 1～10pF 的钽电容。

3）对于抗噪能力弱、关断时电源变化大的元器件，如 RAM、ROM 存储元器件，应在芯片的电源线和地线之间直接接入去耦电容。

4）电容引线不能太长，尤其是高频旁路电容不能有引线。此外，应注意以下两点。

- 在 PCB 中有接触器、继电器、按钮等元器件时，操作它们时均会产生较大火花放电，必须采用 RC 电路来吸收放电电流。一般 R 取 1～2kΩ，C 取 2.2～47μF。
- CMOS 的输入阻抗很高，且易受干扰，因此在使用时对不使用的端口要接地或接正电源。

5.2.6 各元器件之间的电气布线

按照原理图将各个元器件位置初步确定下来，然后经过不断调整使布局更加合理，最后

就需要对印制电路板中各元器件进行布线，元器件之间的布线安排方式如下。

1）印制电路中不允许有交叉电路，对于可能交叉的线条，可以用“钻”“绕”两种办法解决。即让某引线从别的电阻、电容、晶体管脚下的空隙处“钻”过去，或从可能交叉的某条引线的一端“绕”过去。在特殊情况下，如果电路很复杂，为简化设计也允许用导线跨接，解决交叉电路问题。

2）电阻、二极管、管状电容器等元器件有“立式”和“卧式”两种安装方式。立式指的是元器件体垂直于电路板安装、焊接，其优点是节省空间；卧式指的是元器件体平行并紧贴于电路板安装、焊接，其优点是元器件安装的机械强度较好。这两种不同的安装元器件，在印制电路板上的孔距是不一样的。

3）同一级电路的接地点应尽量靠近，并且本级电路的电源滤波电容也应接在该级接地点上。特别是本级晶体管基极、发射极的接地不能离得太远，否则因两个接地间的铜箔太长会引起干扰与自激，采用这样“一点接地法”的电路，工作较稳定，不易自激。

4）总地线必须严格按高频-中频-低频逐级按弱电到强电的顺序排列原则，切不可随便翻来覆去乱接，级间宁可接线长点，也要遵守这一规定。特别是变频头、再生头、调频头的接地线安排要求更为严格，如有不当就会产生自激以致无法工作。调频头等高频电路常采用大面积包围式地线，以保证有良好的屏蔽效果。

5）强电流引线（公共地线、功放电源引线等）应尽可能宽些，以降低布线电阻及其电压降，可减小寄生耦合而产生的自激。

6）阻抗高的走线尽量短，阻抗低的走线可长一些，因为阻抗高的走线容易发射和吸收信号，引起电路不稳定。电源线、地线、无反馈元器件的基极走线、发射极引线等均属低阻抗走线。

7）电位器安放位置应当满足整机结构安装及面板布局的要求，因此应尽可能放在板的边缘，旋转柄朝外。

8）设计印制板图时，在使用 IC 座的场合下，一定要特别注意 IC 座上定位槽放置的方位是否正确，并注意各个 IC 脚位置是否正确，例如第 1 脚只能位于 IC 座的右下角或者左上角，而且紧靠定位槽（从焊接面看）。

9）在对进出接线端布置时，相关联的两引线端的距离不要太大，一般为 2～3/10 in 左右较合适。进出接线端尽可能集中在 1～2 个侧面，不要过于分散。

10）在保证电路性能要求的前提下，设计时应力求合理走线，少用外接跨线，并按一定顺序要求走线，力求直观，便于安装和检修。

11）设计应按一定顺序方向进行，例如可以按由左往右和由上而下的顺序进行。

5.2.7 印制电路板的分割

在 PCB 中的组件布局必须要正确。将不同功能区块的接地线紧密相邻，可以缩短信号走线的长度、降低反射，并使绕线容易，同时保持信号的完整性。应该要尽量避免使用通孔，因为每一个通孔会增加走线的电感值 1～3nH。图 5-9 所示为一计算机主板功能区子系统的示意图。从图 5-9 同时可观察到其使用了非常多的机壳金属接地点。

高频设计的场合应注意将地平面（Ground Plane）连接至机架地（Chassis Ground）。使用多点接地的方法有效地分离共模涡流，使其不会耦合到其他区域。时钟在 50MHz 以上的

设计就需要更多的接地以降低共模电流及地的环路效应。每一个子区域至少要有 4 个接地点围绕着。这些接地点可以获得最好的长宽比，因此可以获得很好的电磁兼容效果。

如图 5-9 所示，在提供外围器件电源的外设电源前后各有一个接地点。在 PCB 或外围器件的电源所产生的噪声必须使用去耦旁路（Bypass）电容将 AC 噪声分流到机架地，这些去耦电容可降低电源产生的 RF 电流与信号及数据线的耦合。将电源连接器不期望的 RF 电流分流到机架地，也可以优化主机板与外围设备的数据传输的信号质量，同时也降低 EMI。

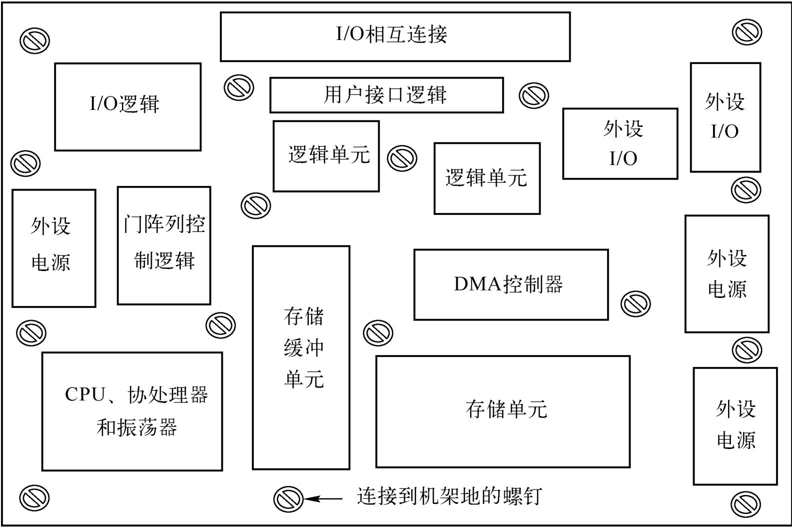


图 5-9　计算机主板功能区子系统的示意图

大部分的 PCB 都包含有功能子系统或区域。比如，一个典型的主机板具有以下区域：CPU、存储器、ASIC、总线接口、系统控制器、PCI 总线、SCSI 总线、USB 接口、外围设备接口（FDD、HDD）、视频、音频和其他器件等。每个子系统或区域具有不同的 RF 能量频带宽。不同的数字元器件所产生的 RF 能量的频谱区域都不同，信号的频率越高，与数字信号跳变相关的操作所产生的 RF 能量的频带也越高。时钟信号是 RF 能量产生的主要来源，因为时钟信号是周期性的，并且占空比为 50%。

要防止不同频带宽区域之间互相耦合，要采用功能分割（Partitioning）。分割就是将不同的功能区域进行物理的分割。分割方式要根据不同产品而采用不同的方式，通常可用多块 PCB、组件间的隔离、Layout 的隔离等方式。

适当的分割可以优化信号质量，并且间化布线。分割可以使 RF 环路面积更小，从而优化信号质量。在布线之前，必须先规划好哪些组件是属于哪一个功能区块，而这些信息可以从组件供货商处获得。

功能分割可以认为是将一个功能区域从另一个功能区域分离出来，以使不同的功能的电路隔离开来（如图 5-10 所示）。在一个 I/O 区域的电源和地平面的分割可以防止 PCB 一部分产生的 RF 电流进入其他区域。在 PCB 设计中，想获得的就是使与特性子区域相关的电磁场限制在需要这部分能量的区域。来自时钟区域的电磁能量不能传递到 I/O 电路或相互连接中。因为在处理器和 I/O 之间会存在电势差，所以它们之间的分割必须很好地进行去耦。只要存在电势差，则在这两个区域就会产生共模能量。一旦将电缆连接到 PCB，共模能量就会

从电源分配系统传输到信号线，从而形成天线效应。I/O 相互连接会辐射共模或差模 RF 能量，防止来自高带宽区域的不需要的 RF 能量进入 I/O 部分（低带宽区域）或其他功能区域，从而达到布局和布线的设计目标。

<table>
<tr><td rowspan="2">适配卡</td><td>慢速的I/O相互连接</td><td rowspan="2">视频</td><td rowspan="2">音频</td></tr>
<tr><td>逻辑单元</td></tr>
<tr><td>模拟信号处理</td><td rowspan="2">CPU和时钟逻辑</td><td rowspan="2" colspan="2">电源</td></tr>
<tr><td>存储单元</td></tr>
</table>

图 5-10　功能分割实例

功能分割需要注意两个方面，即处理传导和辐射的 RF 能量。传导的 RF 能量会通过信号线在子功能区和电源分配网路之间进行传输，而辐射的 RF 能量是通过自由空间进行传输的。

设计一个最优化的分割布局是不可能的，另一种技术就是在产生不期望的 RF 能量的部分进行屏蔽分割，从而控制辐射并增强 PCB 的抗干扰能力。当实现电路的正确操作时，即使使用金属屏蔽分割，也可能无法确保屏蔽的完整性。因为在高频（通常在 800MHz 以上）时，与屏蔽相关的内置孔和槽会妨碍辐射能的有效消除。

5.2.8　印制电路板布线流程

印制电路板设计的一般步骤如下。

1）绘制原理图。这是电路板设计的先期工作，主要是完成原理图的绘制，包括生成网络表。当然，有时也可以不进行原理图的绘制，而直接进入 PCB 设计系统。

2）规划电路板。在绘制印制电路板之前，用户要对电路板有一个初步的规划，比如说电路板采用多大的物理尺寸、采用几层电路板（单面板还是双面板）、各元器件采用何种封装形式及其安装位置等。这是一项极其重要的工作，是确定 PCB 设计的框架。

3）设置参数。参数的设置是电路板设计非常重要的步骤。设置参数主要是设置元器件的布置参数、层参数、布线参数等。一般说来，有些参数用其默认值即可，有些参数第一次设置后，几乎无须修改。

4）装入网络表及元器件封装。网络表是 PCB 自动布线的灵魂，也是原理图设计系统与印制电路板设计系统的接口。因此这一步也是非常重要的。只有将网络表装入之后，才可能完成对电路板的自动布线。元器件的封装就是元器件的外形，对于每个装入的元器件必须有相应的外形封装，才能保证 PCB 布线的顺利进行。

5）元器件的布局。元器件的布局可以让 Protel 自动布局。规划好 PCB 并装入网络表后，用户可以让程序自动装入元器件，并自动将元器件布置在电路板边框内。Protel 也可以让用户手动布局。元器件布局合理，才能进行下一步的布线工作。

6）手动预布线。对比较重要的网络连接和电源网络的连接应该手动预布线。

7）锁定手动预布的线，然后进行自动布线，Protel 采用先进的无网格、基于形状的对角

线自动布线技术。只要将有关的参数设置得当，元器件的布局合理，自动布线的成功率几乎是100%。

8）手工调整，自动布线结束后，往往存在令人不满意的地方，需要手动调整。

9）文件保存及输出，完成PCB的布线后，保存完成的电路线路图文件。然后利用各种图形输出设备，如打印机或绘图仪输出PCB的布线图。

5.3 印制电路板的叠层设计

PCB的叠层常常由板的目标成本、制造技术和所要求的布线通道数所决定。对于大部分工程设计，存在许多相互冲突的要求，通常最后的设计策略是在考虑各方面的折中后决定的。PCB板可以从最低成本的1层到高性能系统所要求的30层或更多层。

5.3.1 多层板

具有许多层的PCB常常用于高速、高性能的系统。其中多层用于DC电源或地参考平面。这些平面通常是没有任何分割的实体平面，因为具有足够的层用作电源或地层，因此没有必要将不同的DC电压置于一层上。无论一个层的名称是什么（例如Ground、+5V、VCC或Digital power等），该平面将会用作与它们相邻的传输线上信号的返回电流通路。构造一个好的低阻抗的返回电流通路是这些平面层的最重要EMC（电磁兼容）目标。

信号层分布在实体参考平面层之间。它们可以是对称的带状线或非对称的带状线。在大部分设计中，会使用到这些配置的组合。

下面以一个12层板为例来说明多层板的结构和布局。如图5-11所示为一个流行的12层PCB结构，其分层结构为T-P-S-P-S-P-S-P-S-S-P-B，这里“T”为顶层；“P”为参考平面层；“S”为信号层；“B”为底层。顶层和底层作为元器件焊盘，信号在顶层和底层不会传输太长的距离，以便减少来自走线的直接辐射。该设计考虑可以用于其他任何叠层配置的设计。

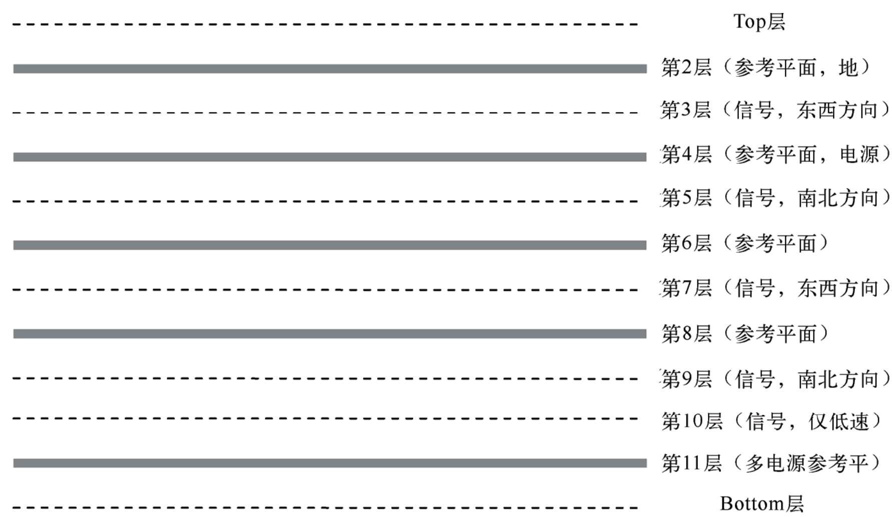


图5-11　12层PCB的配置

下一个考虑就是确定哪个参考平面层将必须包含用于不同的 DC 电压的多个电源区。对于这个实例，假设第 11 层具有多个 DC 电压。这就意味着设计者必须将高速信号尽可能远离第 10 层和底层，因为返回电流不能流过第 10 层以上的参考平面，并且需要使用缝合电容（Stitching Capacitor）。在该实例中，第 3、5、7 和 9 层分别为高速信号的信号层。

然后就要规划最重要信号的布线。在大多数设计场合中，走线尽可能以一个方向进行布局，以便优化层上可能的布线通道数。第 3 和第 7 层可以设定为“东西”走线，而第 5 和第 9 层设置为“南北”走线。走线布在那一层是根据其所连接目的的方向来确定。

一个重要的考虑就是高速信号的走线时层的变化，并且哪些不同的层将用于一个独立的走线。另一个重要的考虑就是确保返回电流可以从一个参考平面流到需要流过的新参考平面。实际上，最好的设计并不要求返回电流改变参考平面，而是简单地从参考平面的一侧改变到另一侧。例如，下面信号层的组合可以一起用作信号层对：第 3 层和第 5 层；第 5 层和第 7 层；第 7 层和第 9 层。这就允许一个东西方向和一个南北方向的形成一个布线组合。但是像第 3 层和第 9 层这样的组合就不应该使用，因为这会要求一个返回电流从第 4 层流到第 8 层。尽管一个解耦电容可以放置在过孔附近，但是在高频时，由于存在引线和过孔电感而使电容失去作用。这种增加电容的布线策略也会增加元器件的数量和产品的成本。

另一个重要的考虑就是为参考平面层选定 DC 电压。假设该实例中，一个处理器因为内部信号处理的高速特性，所以在电源/地参考引脚上存在大量的噪声。因此，在为处理器提供的相同 DC 电压上使用解耦电容非常重要，并且尽可能有效地使用解耦电容。在后面的有关解耦的章节中，将会讨论板上解耦电容性能会严重地受到所连接的过孔、焊盘和连接走线的限制。降低这些元器件的电感的最好方法就是使连接走线尽可能短和宽，并且尽可能使过孔短而粗。如果第 2 层分配为“Ground”并且第 4 层分配为处理器的电源，则过孔离放置处理器和解耦电容的顶层的距离应该尽可能短。延伸到板的底层的过孔剩余部分不包含任何重要的电流，并且非常短从而不会具有天线作用。图 5-11 所示就是这种叠层设计的描述，如果将一个电容放置在板的底层，则可以看出这样会产生更长的过孔，从而比放置电容在顶层产生更大的电感。

另外，如果将高速信号布在第 3 层和第 5 层，建议使一个有效器件所驱动的信号走线具有相同的电源作为参考平面。也就是说，来自处理器（例如存储单元的总线和其他高速总线）的信号应该布在第 3 层和第 5 层，因此它们可以共享相同的电源，并且返回电流可以更加容易返回到它们的源。

尽管上面的讲述主要是着重于最重要的信号和 IC，这些考虑也应该使用于其他信号和 IC。在第 10 层上的信号应该是低速信号，因为第 11 层上的参考平面具有多个电源，并且被切分为多个部分。

5.3.2 六层板

六层板是常用的叠层设计。通常，这种叠层作为低成本的产品并且包含 4 个信号层和 2 个参考平面层。图 5-12 所示为一个典型的六层板的叠层布局，其中包含 4 个信号层和 2 个参考平面层。很明显，这种配置比前一种配置具有较低的自由度。

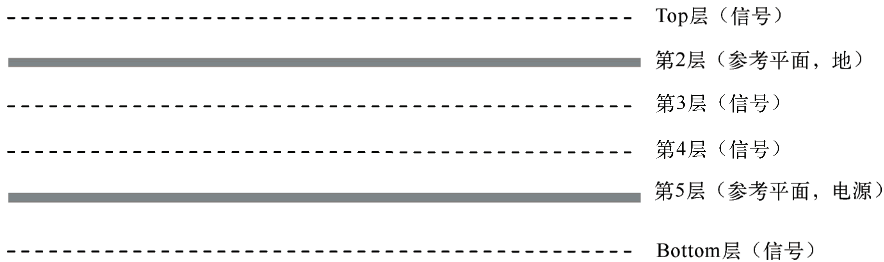


图 5-12　六层 PCB 的配置

与前面的 12 层配置一样，可以使用一个东西方向和一个南北方向的布线。另外，建议使用不要求返回电流改变参考平面的布线层对。在这种情况下，可以选择第 1 层和第 3 层作为布线层对，第 4 层和第 6 层作为另一个布线层对。顶层和底层必须用作信号布线。为了得到一个好的 EMC 性能，建议将返回电流置于一个参考平面上，而不要将信号埋于两个参考平面之间。因此第 3 层和第 4 层不能用于高速信号的布线层对。

第 2 层和第 5 层为电源和地参考平面层。通常，在 PCB 上会有多个不同的 DC 电压，因此电源平面有可能会分割为许多个电源岛。如果第 2 层被用作地参考平面层，而设计人员必须保证所有高速信号布在第 1 层和第 3 层上，以便他们不会跨过分割的参考平面。当然，如果一个特定的信号通路不会跨过电源参考平面的分割区，则也可以把这些信号布在第 4 层和第 6 层上。

5.3.3　四层板

四层板通常用于低成本的系统。通常，四层板只有 2 个信号层和 2 个参考平面层。图 5-13 描述了四层板的叠层配置。



图 5-13　四层 PCB 的配置

布线通道数量的优化对于四层板来说是至关重要的，因为可以使用东西方向和南北方向的布线策略。无论如何在此时欲为返回电流保持相同的参考平面是不可能的。一个解耦电容必须放置在过孔附近，以便提供一个返回电流通路。连接电容焊盘和过孔的走线必须保持尽可能短并且尽可能宽，以便使电感/阻抗最小化。

参考平面一般分配为地参考和电源。同样，电源参考也可能分割为许多个不同的电压参考区。当电源参考平面用作一走线的信号参考时，则需要考虑的就是将走线布在实体参考区上，从而走线不会跨过那些分割区。如果必须跨过分割区，则需要在靠近走线跨过分割区的地方放置一个缝合电容（Stitching Capacitor）。另外，连接电容焊盘和过孔的走线必须保持尽

可能短并且尽可能宽，以使电感/阻抗最小化。

5.3.4 单面和双面板

单面和双面板的设计对 EMC 来说不是很容易的。尽管不推荐使用这种叠层设计，但是这种设计还是经常被选用。对于这种叠层设计，通常没有实体参考平面，并且所有信号和所有电源，以及电源的返回均通过走线的方式进行布置。在这种设计策略中的主要考虑就是使信号电流的环面积尽可能最小，不允许大的电流环面积存在，如图 5-14 所示。

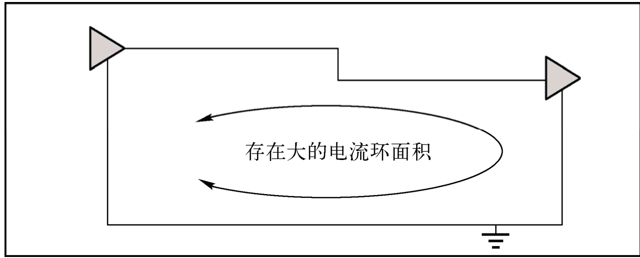


图 5-14 大的电流环面积在 PCB 中存在

尽管在这种叠层设计中，信号的速度要小于前面所讲述的几种叠层设计，但是依然会产生 EMC 问题。一个信号返回走线尽可能平行靠近信号走线，以便使环面积最小，从而最小化 RF 辐射。图 5-15 所示为这种设计策略的描述。另外，应该使信号走线尽可能短以最小化环面积。解耦电容应该尽可能放置在 IC 的附近，并且连接在电源和地引脚之间。

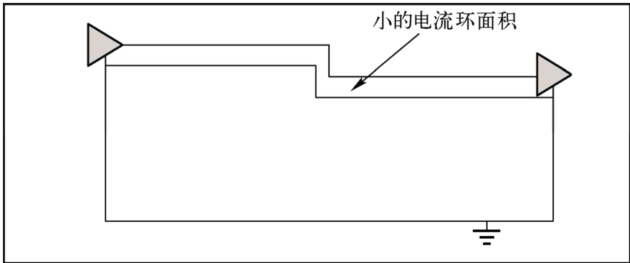
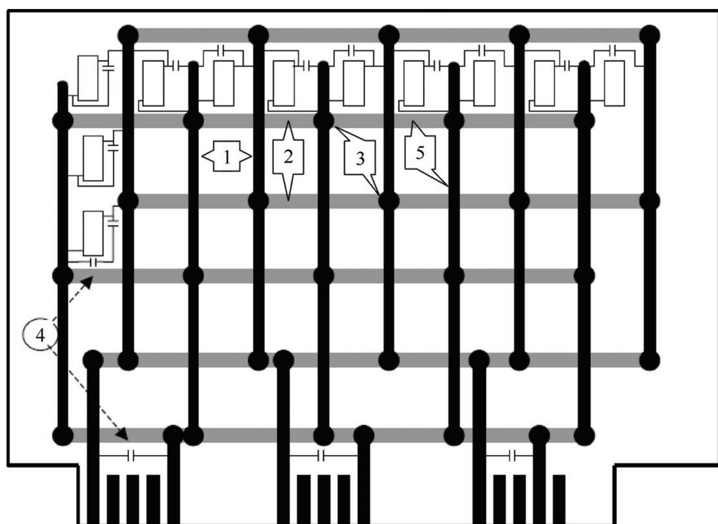


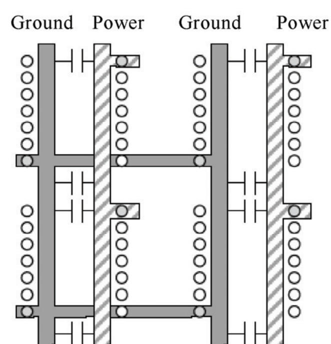
图 5-15 小的电流环面积设计策略

下面讲述两种典型的双面板布局策略。

1）如图 5-16 所示，电源和地设置为网格状，使之成为每个网格的总环路面积小于 $1.5in^2$。电源和地的走线以 90° 角度分布，电源在一层，而地在另一层。地的走线以垂直方向置于顶层，而电源的走线以水平方向置于底层。在每个地和信号走线的交汇处及每个 IC 处，均放置解耦电容。这种布局方式目前已经不常用。

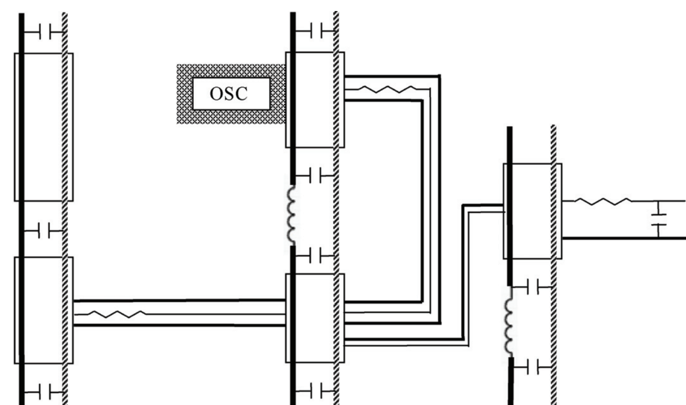
2）如图 5-17 所示，返回走线必须放置在靠近最容易受干扰的走线，以使 RF 能量返回到它的源。电源和返回走线也必须相互平行布局，并且在电源和地之间，以及在产生开关能量的每个元器件处均放置解耦电容。使用这种布局方法，可能会造成布线的困难。但是最大的优点就是能实现 EMC 兼容。





注：
1．板子的上层为垂直走线。
2．板子的下层为水平走线。
3．水平和垂直走线相交处有贯穿孔。
4．每个IC和相交的电源和地之间具有解耦电容。
5．信号线按照水平和垂直的图形进行走线。

图 5-16　电源和地网格状结构的双面板布线策略



电源走线
地走线
信号走线
地走线
局部的地平面
解耦电容
用于电源隔离的铁氧体磁珠
串接的电阻

图 5-17　具有较好的 RF 返回电流的双面板布线

当使用网格状的电源和地的布局结构时，必须考虑确保网格多的地方连接在一起。如果缺少一个网格，则来自元器件的 RF 环电流找不到一个可靠的低阻抗返回通路，因此会加剧 RF 辐射。对电源和返回走线布线要使用平行方式，并且相互靠近。这样就可以获得低阻抗、小环面积的传输线结构或天线。由于小的电流环面积，则产生的 RF 能量将是非常高的频率，因此在更高的频率范围（MHz）才可以测得信号，不会产生 EMC 兼容问题。如果走线和 0V 参考之间的距离很大时，则对于参考到 0V 的信号走线与返回走线之间依然可能会产生大的电流环。

当一个电源和地网格存在时，双面 PCB 的一个问题是如何实现元器件之间的信号走线。在几乎每一个应用场合，在一个双面板上完全实现网格化是不现实的。最优化的布局技术就是使用地填充作为一个返回通路，可以控制环面积并降低 RF 返回电流的阻抗。该地填充必须在尽可能多的位置和 0V 参考点相连接。

图 5-17 所示的第 2 种双面板的布局方法和图 5-16 是一致的。唯一的不同就是在顶层和底层的电源和地走线布局。通过使用顶层和底层进行电源和地的布局，使环面积尽可能小的布线就变得更加容易。

当分析一个具有标准厚度 0.062in（1.6mm）的双面叠层设计 PCB 的 EMC 兼容性时，顶层（放置元器件）和底层（具有地平面和 0V 参考）的物理距离常常认为给顶层存在的 RF 电流提供了一个返回通路，图 5-18 描述了这种情况。实际上，信号走线和返回平面之间的空间距离在物理上同走线之间的距离相比要大，这个走线和返回平面之间大的物理距离不会获得最优的磁通量消除。对于这个实例，在信号走线的磁场分布近似为一条走线宽度。走线之间磁场分布的物理距离数量上小于 PCB 两面的走线和参考平面之间的物理距离。这就意味着任何大于一条走线宽度的 RF 返回通路距离信号源太远，以至于不能执行最优的返回磁通量的消除。

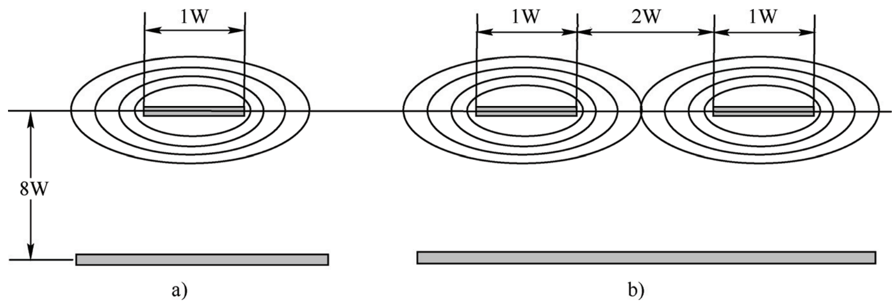


图 5-18　两层叠层设计在消除 RF 辐射能的无效实例

注：图 5-18a 中，信号走线在参考平面上方的距离为 8 倍的走线宽度，因为参考平面距离走线太远，所以不能实现最优化的磁场消除效果。图 5-18b 中，信号走线临近一个 0V 电压的走线，这两个走线的距离远远小于走线到参考平面的距离，因此增强了磁场消除。

最好的双面 PCB 设计方法是将板子看作两个单面板，应用适合于单面板设计的设计规则和技术，对 PCB 的顶层和底层进行布线。按照 RF 返回电流存在的规定，必须在任何时候都保持地环路控制。

5.3.5 叠层设计布局快速参考

表 5-3 列出了叠层设计布局的参考配置，包括最常用的叠层配置。

表 5-3 叠层设计布局的参考配置

叠层	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 层	S1 和地	S2 和电源								
4 层	S1	地	电源	S2						
4 层	地	S1	S2	电源						
6 层	S1	S2	地	电源	S3	S4				
6 层	S1	地	S2	S3	电源	S4				
6 层	S1	电源	地	S2	地	S3				
8 层	S1	S2	地	S3	S4	电源	S5	S6		
8 层	S1	地	S2	地	电源	S3	地	S4		
10 层	S1	地	S2	S3	地	电源	S4	S5	地	S6
10 层	S1	S2	电源	地	S3	S4	地	电源	S5	S6

5.4 接地方法

在 PCB 设计中，通常可以使用多种接地方式。在电路设计中，地有多种含义，比如“数字地”“模拟地”“信号地”“噪声地”“电源地”等。在 PCB 设计中，常用的接地方式有单点接地、多点接地和混合接地。但是一般情况不会使用单点和多点的混合接地方式。下面主要介绍单点接地和多点接地方式。如图 5-19 所示为单点接地方式，如图 5-20 所示为多点接地方式。

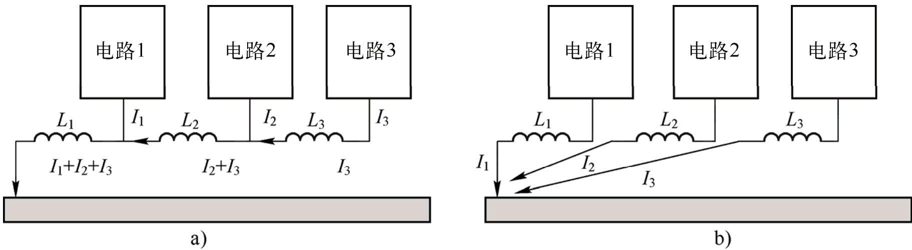


图 5-19 单点接地方式

a) 串联单点接地 b) 并联单点接地

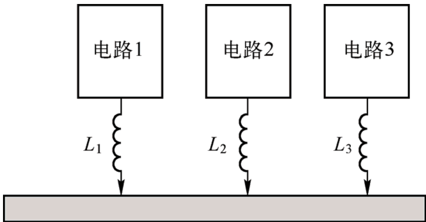


图 5-20 多点接地方式

5.4.1 单点接地

当电路中的元器件和信号连线的信号速度小于 1MHz 时，通常使用单点接地方式。在比较高的频率情况下，连线的电感会使 PCB 的阻抗增加，而在更高频率时，电源平面与信号连线的阻抗就会对系统产生影响。如果连线的长度等于或接近信号的 1/4 波长的奇数倍，则此时阻抗会很大。如果连线或地具有很高的阻抗，则会产生天线效应，并且辐射 RF 能量。所以，如果超过了 1MHz 的信号频率，通常要使用多线接地。

单点接地方式通常应用在信号以辐射状传递的情况下，比如音频电路、模拟仪器、60Hz 的交流和直流（DC）电源系统以及装在塑料壳内的系统。尽管单点接地通常用在低频的产品上，但在高频电路或系统上偶尔也会应用。

在 CPU 主板或 I/O 接口板上使用单点接地会导致地平面和金属机架之间产生环流电流。环流电流会产生磁场，从而产生电场并产生 RF 电流。因此，在计算机或类似的设备上基本不采用单点接地方式。因为不同的子系统和周边在不同位置直接连接到金属机架，会产生许多环路结构。通过这种传递机制，由电磁场产生的感应电流会将电压耦合到电路中，从而产生环路结构。多点接地方式会使这些环路分散在较宽的区域，从而不大可能会产生这种问题。RF 环电流应该被控制，而不允许在无意中将能量传递到对磁场干扰敏感的其他电路和子系统中。

5.4.2 多点接地

高频电路的产品设计通常要求使用多点接地方式。通过将 RF 电流旁路连接到地平面和机壳之间，多点接地可以最小化存在于 PCB 的电源分配系统的地阻抗中。这种地阻抗主要是由相对于 PCB 连线来说的大的实体铜平面的低阻抗特性产生的。在很高频率的电路中，从元器件到地的连线应该尽可能短，以最小化引脚电感。引脚电感会引起内部连线之间产生一个电势，这个电势是共模电流产生的一个重要原因。PCB 的连线会增加电路或传输线的电感每英寸为 12～20nH。这个可变电感值受两个参数影响：引线宽度和厚度。当地平面和机架地之间的集散电容和电感形成了一个谐振电路时，就会引起谐振，其谐振频率可用式（5−1）计算。该电容值 C 通常具有一个误差范围。而电感值 L 是由铜平面的阻抗所决定的。一个铜平面（10in×10in 或 25.4cm×25.4cm）的典型感抗值如表 5−4 所示。

$$f = 2\pi \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (5-1)$$

式中，L 为电路电感；C 为电路电容；f 为谐振频率。

表 5−4 一个铜平面（10in×10in 或 25.4cm×25.4cm）的典型感抗值

信号频率/Hz	铜层厚度/cm	阻抗值/（Ω/in²）
1M	6.6×10^{-3}	0.00026
10M	2.1×10^{-3}	0.00082
100M	6.6×10^{-4}	0.0026
1G	2.1×10^{-4}	0.0082

许多设计的一半结构都是将一个 PCB 置于一个金属安装板或机架上。在电源/地平面和机架之间就可能会产生谐振。如图 5-21 描述了 PCB 中存在的电容和电感与安装平面或金属壳的关系。无论采取何种配置方式，总是存在电容和电感的。根据安装点之间的距离，以及电源和地平面的自激频率，电路中将会存在环路电流。这些环路电流被认为是涡流，并且会与邻近的其他电路板、机架、内部的电缆、周边元器件、I/O 电路、连接器或自由空间产生耦合。

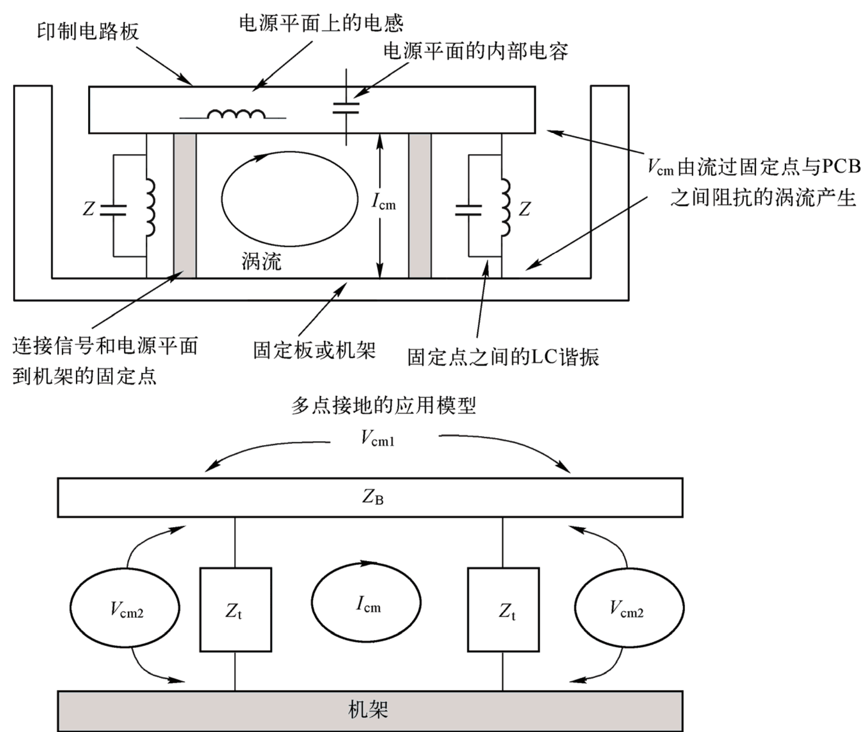


图 5-21　多点地连接机架的谐振模型

除了平面中的电感外，当在 PCB 中布线配置为微带线时，长的导线也会产生天线的效应，特别是对于时钟信号和其他周期数据脉冲信号。通过将导线电感降到最低并消除导线产生的 RF 辐射电流或传输线内的磁通，就可以达到良好的信号品质以及 RF 抑制。

数字电路必须看作高频的模拟电路。具有许多逻辑元器件的 PCB 必须有一个好的低感抗电源分配网络。PCB 内的地平面通常可以提供给电源及信号电流一个较低电感的回路路径，这使得在信号相互连接上可以产生一个增强的固定阻抗传输线。当将地平面和机架平面连接在一起时，必须采取措施将出现在电源和地平面之间的高频 RF 能量消除，通常可以使用旁路去耦电容来实现。高频的 RF 电流通常由电源分配网络（平面）的振荡电路和它们与信号导线的物理关系产生。通常可以使用高品质的旁路去耦电容来消除这些 RF 电流，在每个电源和地之间连接 0.1μF 和 0.001μF 两个电容，这样就可以去除 RF 电流。

机架地也必须直接连接到 PCB 的地平面，以便最小化存在于 PCB 和机架之间的 RF 电压和电流。如果磁场环流很小（小于最高的 RF 频率的 1/20 波长）时，将会增强 RF 的抑制

或磁通的消除或最小化。

5.4.3 接地和信号回路

在 RF 能量的产生和传递中，地环路起主要作用。RF 电流总是试图经过任何存在的路径或媒介回到其源：比如元器件、导线、电源或地平面、存在串扰的相邻导线等。RF 电流总是存在源和负载之间。这是由于信号和回路之间总是存在一个闭环。无论是否存在电感，这样的环会使两个器件之间产生电势差。传输线中的电感会使在一个源和电路之间的 RF 电流产生电磁耦合，从而增加了返回路径的 RF 损失。

在 PCB 设计中，抑制 EMI 最重要的设计考虑就是提供最优的地域信号返回路径的控制。应该对每个地与 0V 参考结构的固定连接（PCB 地和机架地之间的机械连接）以及 RF 噪声产生的 RF 电流进行工程分析。为了最小化地电势，产生高速逻辑和振荡电路的元器件必须尽可能靠近地连接点。将 RF 电流产生元器件尽可能靠近地连接点将可以最小化 RF 环路电流，而 RF 环路电流会在机架中形成涡流。必须把所有不想要的 RF 电流都转移到 0V 参考结构中。

在一个具有适配卡并且单点接地的计算机中产生的 RF 环路电流的实例如图 5-22 所示。

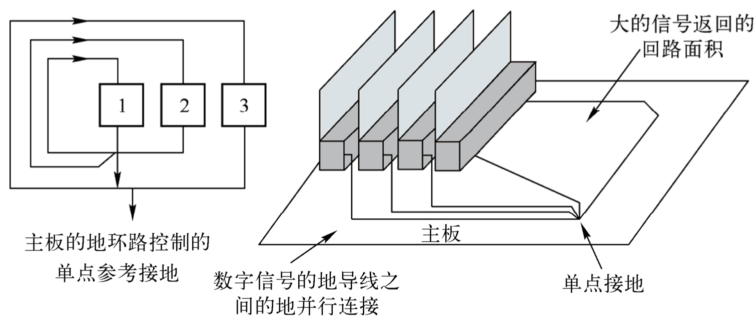


图 5-22 地环路控制实例

从图 5-22 中观察可知，一个返回环路区域存在于适配卡和单点地参考之间。每个环路会辐射产生一个电磁场。如果环路天线产生的 RF 能量存在于一个 PCB 中，则必须采取一些围堵措施。围堵措施可以使这些不需要的 RF 电流不至于耦合到其他电路或辐射到外部环境造成 EMI 问题。因此应该避免产生内部的 RF 环路电流。

5.5 信号走线

正确的布线有助于保持信号的完整性。为了布局一条干净的走线，设计人员应该使用好的信号完整性分析工具进行仿真分析。下面将讲述两种类型布线方法：单端走线和差分对走线。

5.5.1 单端走线

单端走线连接源和负载/接收器，通常用于点-点的布线连接、时钟走线、低速信号和非

关键 I/O 布线。这部分主要讨论用于时钟信号的不同的单端走线方式。可以使用如下几种方式将相同的始终信号和多个器件相连接，以驱动多个器件。

- 菊花链走线，包括带短截线和不到短截线两种形式。
- 星形走线。
- 蛇形走线。

在布线时应该遵循以下原则，以改善时钟信号传输线的信号完整性。

- 使时钟信号走线尽可能直，使用圆弧形拐角或 45° 角度过渡而不使用直角。
- 尽可能不要使用多个信号层给时钟信号布线。
- 尽可能不要使用过孔在时钟信号传输线上。
- 将地参考平面和外层相邻，以最小化噪声。如果使用内层布局时钟信号走线，则使用两个参考平面将这个信号层夹在中间。
- 对时钟信号采用终端阻抗匹配，以最小化反射。
- 尽可能使用点—点的时钟走线。

（1）具有短截线的菊花链走线

菊花链走线是 PCB 设计中常用的方法。菊花链走线的一个缺点就是短截线或短走线必须用来连接元器件和主时钟信号线，如图 5-23 所示。

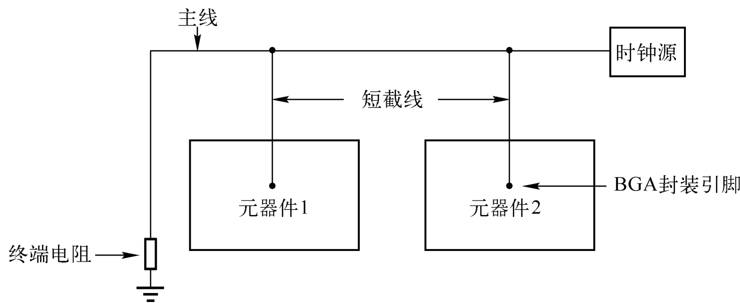


图 5-23 连接元器件和主时钟信号线的短截线菊花链走线

如果一个短截线太长，则它会引入传输线反射并降低信号质量。因此短截线长度不能超过下式的规定。

$$T_{\mathrm{Dstub}} < t_{\mathrm{r}} / 3 \quad (5\text{-}2)$$

式中，T_{Dstub} 为短截线的传输延迟；t_{r} 为信号的 10%～90%上升时间。

对于 1ns 的上升时间边沿，分值长度应该小于 0.5in。如果设计需要时钟信号驱动多个器件，所有短截线长度都应该遵循这个规则。

注意：应尽量避免在 PCB 设计中使用短截线方式。对于高速信号设计，即使非常短的短截线也会产生信号完整性问题。

图 5-24～图 5-26 分别为使用不同差分长度的菊花链走线的 SPICE 仿真结果。当短截线长度减少时，则反射噪声也会相应减小（从图中可以看出信号的眼状开放区增加）。

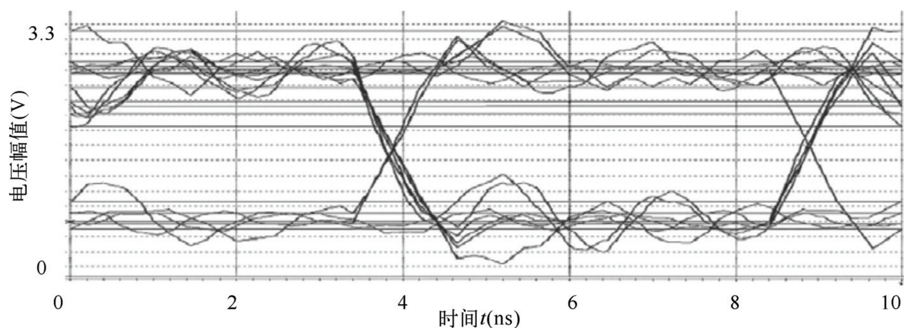


图 5-24 短截线长度为 0.5in 时的 SPICE 仿真

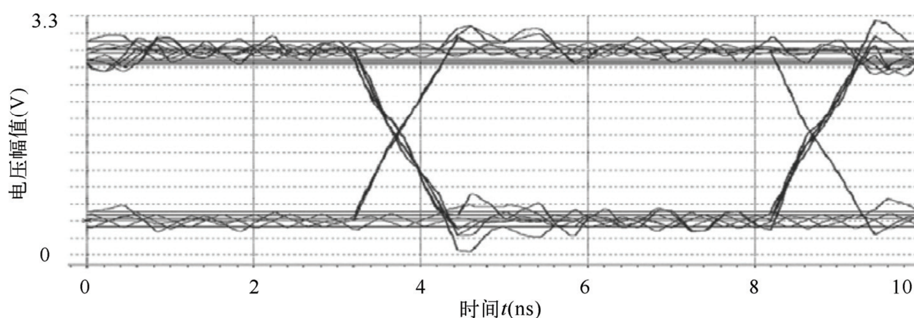


图 5-25 短截线长度为 0.25in 时的 SPICE 仿真

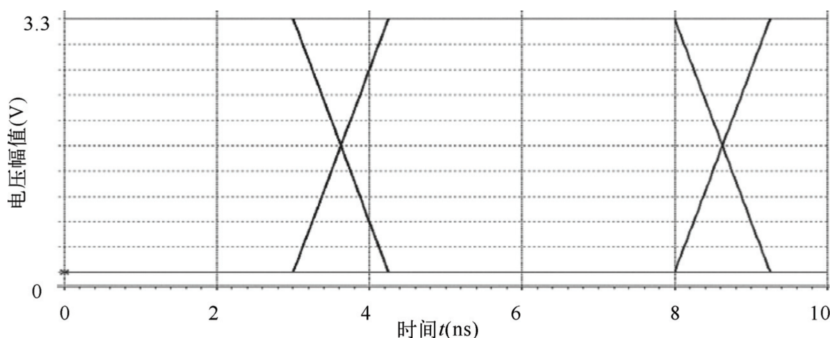


图 5-26 短截线长度为 0in 时的 SPICE 仿真

（2）无短截线的菊花链走线

图 5-27 所示为主线和所驱动的元器件相连接的没有短截线的菊花链布线方式。这种布局消除了主线和短截线之间阻抗不匹配的危险性，改善了信号完整性问题。实际上，图 5-26 所示的 SPICE 仿真就是无短截线的形式，即短截线长度为 0。

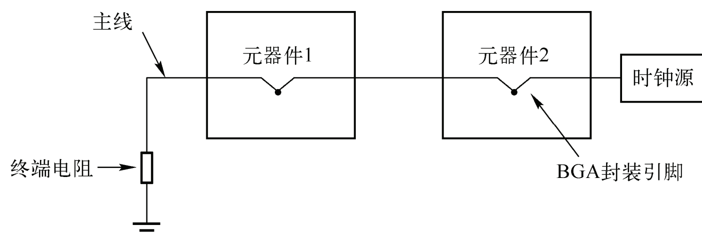


图 5-27 连接元器件和主时钟信号线的无短截线菊花链走线

（3）星形走线

对于星形走线，时钟信号要同时到达所有元器件，如图 5-28 所示。

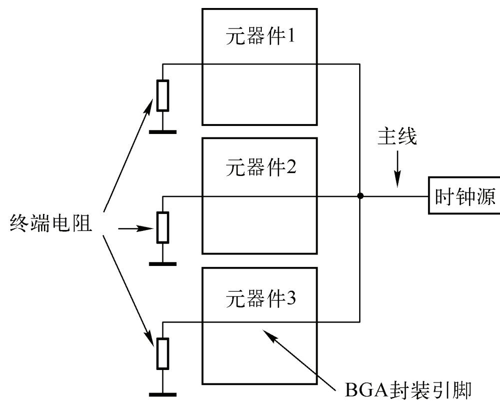


图 5-28　连接元器件和主时钟信号线的星形走线模式

所有时钟源和元器件之间的走线长度必须匹配，以最小化时钟偏移。每个负载都应该一致，以提高信号的完整性。在星形走线中，必须将主线和连接到多个元器件的长走线实现阻抗匹配。

（4）蛇形走线

一个设计要求源和多个负载的走线长度等长时，就需要将一些走线弯曲以满足走线长度匹配，如图 5-29 所示，这就是蛇形走线方式。无论如何，不正确的走线弯曲会影响信号完整性和传输延迟。为了最小化串扰，要确保满足以下规则。

$$S \geqslant 3H \tag{5-3}$$

式中，S 为走线平行部分的间距；H 为信号走线在地参考平面上的高度，如图 5-29 所示。

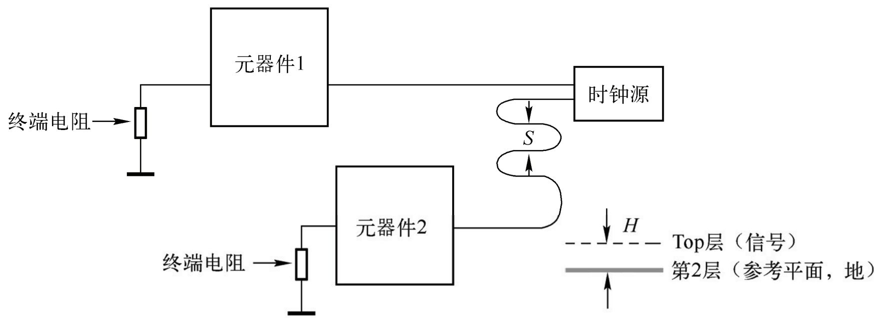


图 5-29　连接元器件和主时钟信号线的蛇形走线模式

注意，在布线时，尽可能避免蛇形走线。可以使用圆弧代替来实现等长走线。

5.5.2　差分对走线

为了获得最好的信号完整性，可以使用差分对来对高速信号进行走线。图 5-30 所示为差分对走线的示例。

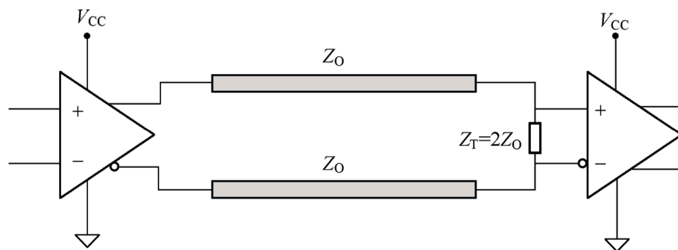


图 5-30　差分对走线的示例

图 5-31 所示为差分对走线在 PCB 上的几何尺寸示例。D 为两个差分对信号之间的距离；S 为差分对两信号之间的距离；W 为差分对走线的宽度；H 为信号走线在地参考平面上的高度。

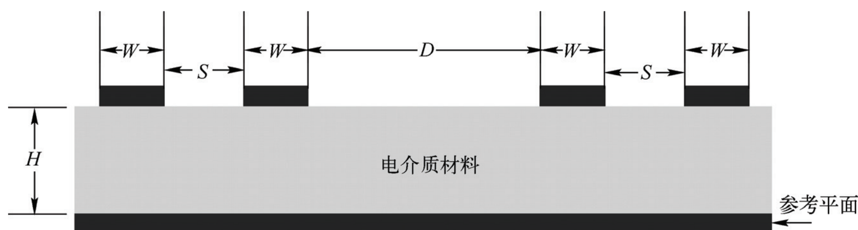


图 5-31　差分对走线在 PCB 上的几何尺寸示例

使用差分对走线时，要遵循下面的规则。

- 保持差分对的两信号走线之间的距离 S 在整个走线长度上为常数。
- 确保 $D>2S$，以最小化两差分对信号之间的串扰。
- 将差分对的两信号走线之间的距离 S 设置应满足：$S=3H$，以便使元器件的反射阻抗最小。
- 将两差分信号线的长度保持相等，以消除信号的相位差。
- 避免使用多个过孔，因为过孔会产生阻抗不匹配和电感。

当将差分信号布在不同的层时，需要注意以下几个问题。

1）阻抗控制。当差分信号跳跃到不同的层时，传输线就会存在阻抗的不连续问题。如果没有选择合适的终端，这种阻抗不连续会产生反射。不同数量的过孔可能会存在两个差分信号路径上，因为还会影响信号的完整性。

2）返回电流和层跳跃。返回电流的磁通消除可能不能达到最优。假设一个双面板，没有任何电源和地参考平面。那么将差分对信号分开会导致 RF 能量的显著增加。对于多层板，因为层跳跃，返回电流的 RF 能量的去除也可能无法达到最优。

3）传输速度。通过表层的微带线，信号可以比通过带状线更快地传输到负载。所以差分对信号会出现相位差，从而影响信号的完整性。

4）共模能量的产生。如果接收器不是直接连接的负载，而是中间使用了电缆或连接器（比如背板配置）实现相互连接，则一个容性负载将会出现在走线上。这个容性负载会使差模信号转化为共模，从而使 EMI 问题恶化。

5.5.3　使用地保护走线

为了使高速时钟信号、周期信号或其他边沿变化速度很快的信号产生较少的 RF 能量，并且尽可能多地吸收这些高频信号走线上共模电流产生的噪声，以便减少对其他走线或环境产生的 EMI 问题，可以对这些关键信号使用地保护走线。地保护走线就在关键信号走线的上下或两旁，使用地参考走线将关键信号走线包围在中间，把关键信号的 RF 能量限制在一个区域，并且地参考走线尽可能吸收它。

要降低共模电流，最好的办法就是减小信号走线与地参考平面之间的距离。但是在大多数情况下，这种方法是不可行的，因为信号平面与地参考平面具有一定规格，以便保持电路板的固定阻抗值。但是也可以通过给信号走线提供一条额外的电流回路，以降低噪声和共模电流。

地保护走线可以用来提供这样的回路以让共模电流返回到地。信号走线和地保护线之间的距离应该力求做到在制造工艺允许范围内最小。使用地保护走线具有以下一些优点。

- 防止高危险信号与邻近元器件或走线之间产生串扰现象。
- 防止共模 RF 耦合现象发生在高危险信号与其他电路之间。
- 提供了一条额外的低阻抗返回路径，降低了 RF 共模电流。
- 可以形成一个良好的阻抗控制，获得同轴线的传输效果。

地保护走线用于单层或双层板上（没有电源或地参考平面）效果最好。因为单层或双层板上没有完整的电源或地参考平面，所以为信号走线提供一条额外的 RF 电流返回通路非常有效。对于多层板，因为存在地参考平面作为返回通路，完全可以实现地保护走线的功能。如图 5-32 所示为地保护走线的示例。

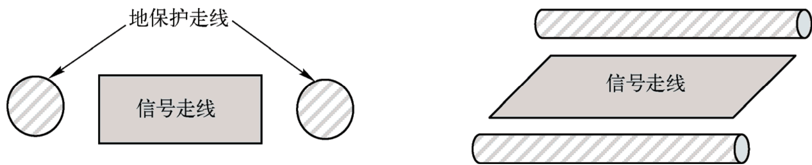


图 5-32　地保护走线示例

当使用地保护走线时，尽量减小地保护走线与信号走线的距离（制造工艺允许范围内），这一距离必须在整条走线上保持固定，这样就可以保证其分布电容最低，从而可以对干扰谐波具有最大的抑制效果。另外还要在地保护走线的两段与地相连接，如图 5-33 所示。

将接地点尽量靠近驱动元器件以及末端点，如果走线长度很长，那么应该在中间增加几个过孔，将地保护走线连接到地平面。

当保护走线因为走线路径上的过孔或通孔元器件引脚而阻挡在布线路径之外，那么它必须越过障碍后立刻返回到布线路径上来。在信号走线和地保护走线之间不要放置任何元器件或其他东西。当两个或更多个周期信号或时钟信号走线平行布置时，它们会共享它们之间或邻近的一条公共的地保护线。但是应该采取措施尽可能防止多条信号走线共享相同的保护线，差分对信号线例外（因为差分信号走线不要求保护走线）。

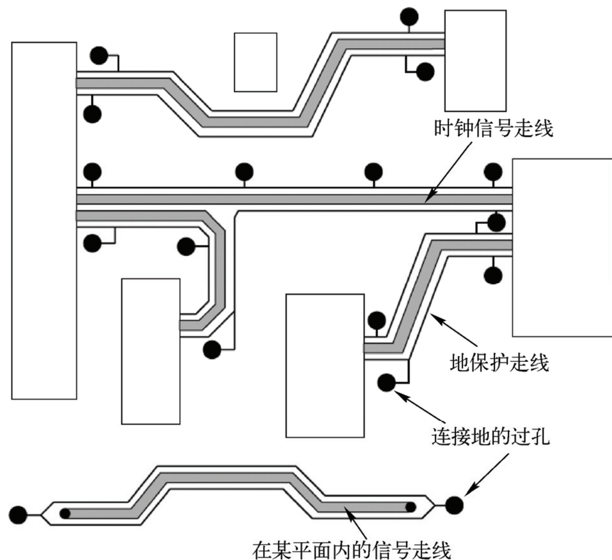


图 5-33　地保护走线

5.5.4　拐角走线

信号线的阻抗突然变化会产生不连续，因而会产生反射，所以在 PCB 走线中要避免这种阻抗不连的情况发生。特别是当设计高速信号的 PCB 时，特别是信号的上升时间为 ns 级时，要特别注意走线时的拐角处理。

当走线出现直角拐角，在拐角处走线的宽度和截面积增加，所以会产生额外的寄生电容，因此阻抗 Z_O 会减少，产生走线阻抗的不连续。在这种直角拐角情况下，可以在拐角处使用两个 45°或圆角来实现直角拐角，这样走线的线宽和截面积可以保持一致，从而避免阻抗不连续问题的产生。如图 5-34 所示，即为直角拐角的处理方法，从图中比较看，圆角方式是最好的。通常 45°角走线可以应用到 10GHz 的信号，而圆角可以应用于 10GHz 以上的信号。

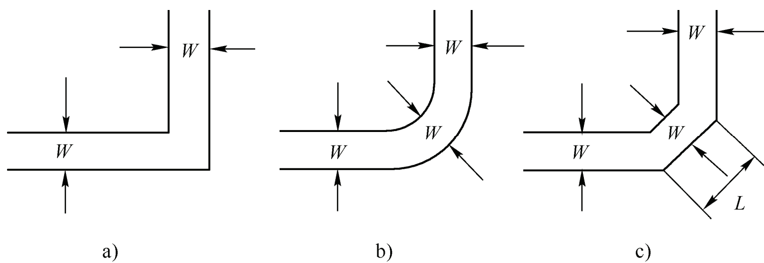


图 5-34　直角拐角的走线处理

a) 直角走线　b) 圆角走线　c) 45°角走线

对于 45°角的走线，其拐角长度 $L \geqslant 3W$，效果最好。

5.5.5　PCB 的布线配置

设计 PCB 时，有两种基本的布线配置：微带线（Microstrip）和带状线（Stripline）。图 5-35 描述了这两种布线的结构。

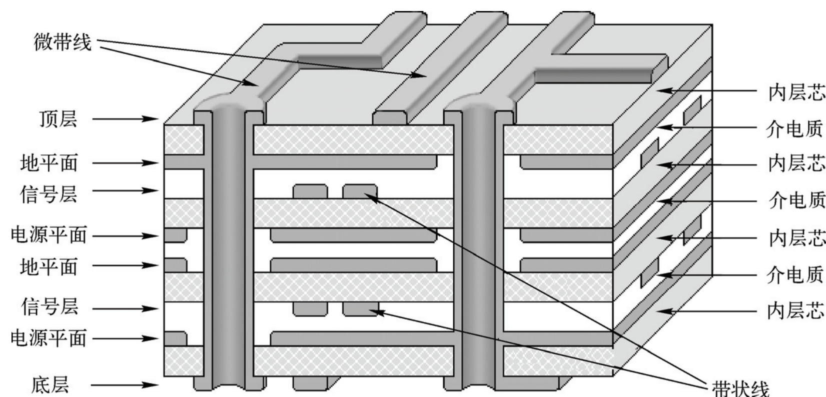


图 5-35　微带线和带状线的结构

1．微带线

微带线指的是只有一面具有参考平面的 PCB 走线。微带线为 PCB 提供了对 RF 的抑制作用，同时也可以容许比带状线更快的时钟或逻辑信号。因为较小的耦合电容及源和负载之间较低的空载传输延迟，因此可以容许更快的信号。电容有时候用于时钟信号以减缓数字信号的边沿变化。由于两个实体平面之间较小的电容耦合，信号可以传输更快。使用微带线的缺点是 PCB 外部信号层会有 RF 能量辐射进入环境中，除非此层上下具有金属屏蔽。

2．带状线

带状线指两边都有参考平面的传输线。带状线可以较好地防止 RF 辐射，但只能用于较低的传输速度，因为信号层介于两个参考平面之间，两个平面会存在电容耦合，导致降低高速信号的边沿变化速度。带状线的电容耦合效应在边沿变化速度快于 1ns 的情况下，更为显著。使用带状线的主要效果是对内部走线的 RF 进行完全屏蔽，且对射频辐射具有较好的抑制能力。

图 5-36 所示为微带线和带状线在 PCB 中的布局结构。微带线有表面微带线和埋入式微带线。带状线具有对称式的和非对称式的带状线。

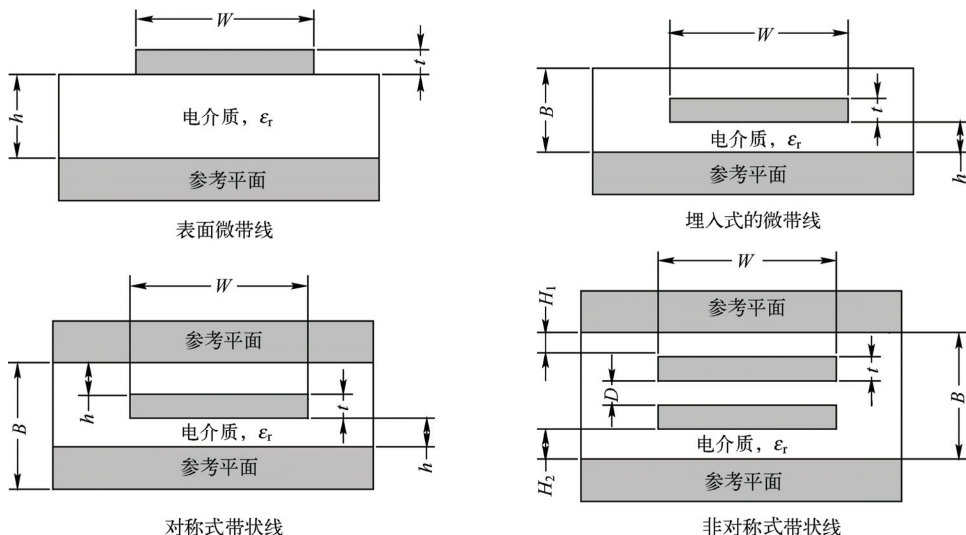


图 5-36　微带线和带状线在 PCB 中的布局结构

一个 PCB 通常是一个具有内部和外部布线的介电质结构，允许元器件相互实现机械和电气连接。除了实现元器件之间的连接之外，一个 PCB 也为元器件提供布局空间。PCB 实际上是由具有多层结构的有机和无机介电材料组成的。层之间的内部连接通过过孔（Via）来实现。这些过孔镀上或填充金属就可以实现层之间的电信号导通。实体参考平面结构为元器件提供了电源和地。在设计 PCB 时，需要重要考虑的是：被传输信号的传输延迟和电路之间的串扰问题。

在电路的 EMC 设计中，PCB 的材料已经不再仅仅为元器件提供支持。用于电路的材料、尺寸和走线空间都会影响电路的 EMC 特性。特别是高频 PCB 设计中，信号走线成为电路的一部分，因为在高于 500MHz 频率的情况下，走线具有电阻、电容和电感特性。在更高频率的工作情况下，传输线的尺寸将对电路的特性具有很大的影响，改变任何尺寸都可能会显著影响 PCB 的性能。

值得注意的是辐射依然会从其他元器件产生。尽管内部的走线不会再产生辐射，其他元器件之间的连线（如端部接线、元器件引脚、插座、内部连线以其他各种情况）仍然会产生辐射问题。由于内部连接存在阻抗，且阻抗不匹配就会存在于传输线中。这种阻抗不匹配会使 RF 能量由内部的走线通过辐射或导通方式（包括串绕），耦合到其他电路或自由空间中。使元器件的引脚电感最小就可以降低这种辐射现象。

① 对称带状线：$H_1=H_2$；不对称带状线：$H_1\neq H_2$。

② W：走线的宽度，h：走线离参考平面的高度，t：走线的宽度，B：全部电介质的厚度，D：两条带状线之间的距离。

③ 参考平面也称为镜像平面。

5.6 PCB 设计编辑器

进入 PCB 设计系统，实际上就是启动 Protel 99 SE 的 PCB 设计编辑器。前面介绍过启动原理图设计编辑器的步骤，启动 PCB 设计编辑器与之类似。

1）进入 Protel 99 SE 系统，从“File”菜单中打开一个已存在的设计项目，或选择“File”→“New”命令建立新的设计项目。

2）进入设计管理器后，接着在设计管理器环境下选择“File”→“New”命令，系统将弹出“New Document”对话框，如图 5-37 所示。选择“PCB Document”图标，单击“OK”按钮。

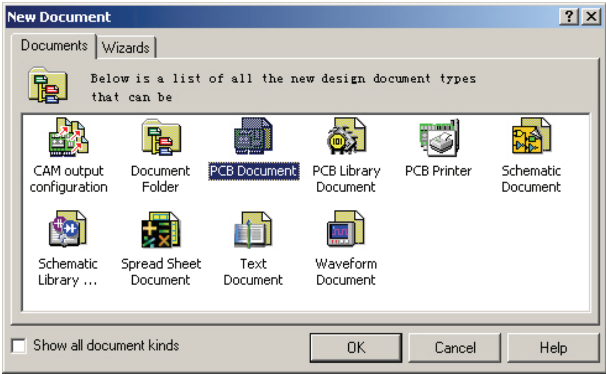


图 5-37 “New Document”对话框

3）新建立的文件将包含在当前的设计库中，可以在设计管理器中更改文件的文件名。单击此文件，系统将进入印制电路板编辑器，如图 5-38 所示。

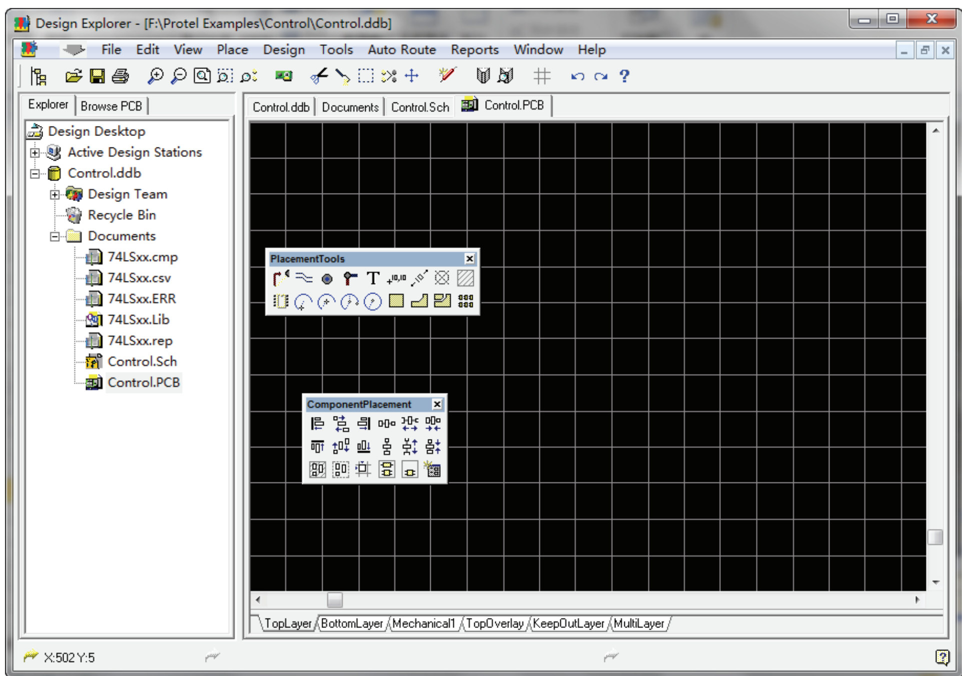


图 5-38　印制电路板编辑器界面

5.6.1　PCB 编辑器界面操作

在设计线路图时，往往需要对编辑区的工作画面进行缩放或局部显示等，以方便编辑、调整。实现的方法比较灵活，可以执行菜单命令，可以单击主工具栏里的按钮，也可以使用快捷键。

1．命令状态下的缩放

当系统处于其他命令状态下时，鼠标无法移出工作区去执行一般的命令。此时要缩、放显示状态，必须要用快捷键来完成此项工作。

1）放大，按〈PageUp〉键，编辑区会放大显示状态。

2）缩小，按〈PageDown〉键，编辑区会缩小显示状态。

3）更新，如果显示画面出现杂点或变形时，按〈End〉键后，程序会更新画面，恢复正确的显示图形。

2．空闲状态下的缩放命令

当系统未执行其他命令而处于空闲状态时，可以执行菜单中的命令或单击主工具栏里的按钮，也可以使用快捷键。

1）放大，单击主工具栏的按钮或选择“View”→“Zoom In”命令，如图 5-39 所示。

2）缩小，单击主工具栏的按钮或选择图 5-39 中“View”菜单

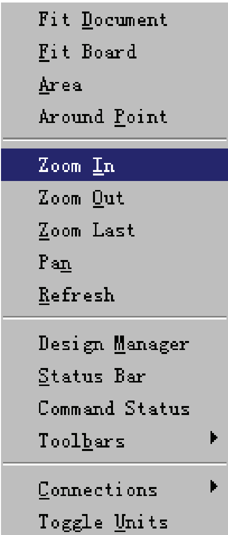


图 5-39　“View”菜单

命令，即选择“View”→“Zoom Out”命令。

3）采用上次显示比例显示，选择“View”→“Zoom Last”命令。

4）选择“View”→“Fit Document”命令来缩放工作面，执行该命令可以缩放工作面，使整个图面置于编辑区中。如果电路板边框外还有图形的话，也一并显示于编辑区。

5）选择“View”→“Fit Board”命令来缩放工作面，执行该命令可以缩放工作面，使整个图面置于编辑区中，不显示电路板边框外的图形。

6）移动显示位置，在设计电路时，需要经常查看各个部分的电路，所以需要移动显示位置。用户可选择“View”→“Pan”命令。方法是：在执行命令之前，先将光标移动到目标点，然后执行本命令，目标点位置就会移到工作区的中心位置显示。也就是说，以该目标点为屏幕中心，显示整个屏幕。

7）更新画面，在设计中，经常碰到由于移动元器件等操作而使画面显示出现问题，虽然这不影响电路的正确性但不美观。这时，可以选择“View”→“Refresh”命令来更新画面。

8）选择“View”→“Area”命令来放大显示用户设定选择框区域，这种方式是通过确定用户选定区域中对角线上的两个角的位置，来确定需要进行放大的区域。方法如下：首先选择“View”→“Area”命令，其次移动十字光标到目标的左上角位置，然后拖动鼠标，将光标移动到目标的右下适当位置，再单击加以确认，即可放大所选框中的区域。

9）选择“View”→“Around Point”命令放大显示用户设定选择框区域，这种方式是通过确定用户选定区域的中心位置和选定区域的一个角的位置，来确定需要进行放大的区域。方法如下：首先选择“View”→“Around Point”命令，其次移动十字光标到目标区的中心再单击，然后将光标移动到目标区的右下角，再单击加以确认，即可放大所选框中的区域。

5.6.2 工具栏的使用

与原理图设计系统一样，PCB 也提供了各种工具栏。在实际工作过程中往往要根据需要将这些工具栏打开或者关闭，常用工具栏、状态栏、管理器的打开和关闭方法与原理图设计系统的基本相同，Protel 99 SE 为 PCB 设计提供了 4 个工具栏，包括 Main Toolbar（主工具栏）、Placement Tools（放置工具栏）、Component Placement（元器件位置调整工具栏）和 Find Selections（查找选择集工具栏），打开各工具栏可通过如图 5-40 所示的菜单实现。

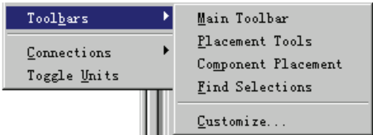


图 5-40 “Toolbars”子菜单

1）主工具栏，Protel 99 SE 主工具栏如图 5-41 所示，该工具栏为用户提供了缩放、选取对象等命令按钮。


图 5-41 Protel 99 SE 主工具栏

2）放置工具栏，Protel 99 SE 中的“Placement Tools”工具栏如图 5-42 所示。该工具栏主要为用户提供了图形绘制以及布线命令。

3）元器件位置调整工具栏，Protel 99 SE 为用户提供了方便元器件排列和布局的工具栏

"Component Placement"，如图 5-43 所示。

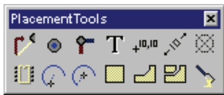


图 5-42 "Placement Tools"工具栏

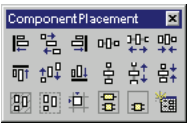


图 5-43 "Component Placement"工具栏

4）查找选择集工具栏，Protel 99 SE 为用户提供了方便选择原来所选择的对象的工具栏"Find Selections"，如图 5-44 所示。

工具栏上的按钮允许从一个选择物体以向前或向后的方向走向下一个。这种方式是有用的，用户既能在选择的属性中也能在选择的元器件中查找。



图 5-44 "Find Selections"工具栏

5.6.3 PCB 电路参数设置

设置系统参数是电路板设计过程中非常重要的一步。系统参数包括光标显示、层颜色、系统默认设置、PCB 设置等。许多系统参数是符合用户的个人习惯的，因此一旦设定，将成为用户个性化的设计环境。

选择"Tools"→"Preference"命令，系统将弹出如图 5-45 所示的"Preferences"对话框。它共有 6 个选项卡，即"Options"选项卡、"Display"选项卡、"Colors"选项卡、"Show/Hide"选项卡、"Defaults"选项卡、"Signal Integrity"选项卡。

1．"Options"选项卡

"Options"选项卡如图 5-45 所示。"Options"选项卡用于设置一些特殊的功能。它包含"Editing""Autopan""Undo/Redo"和"Draw Order"等。

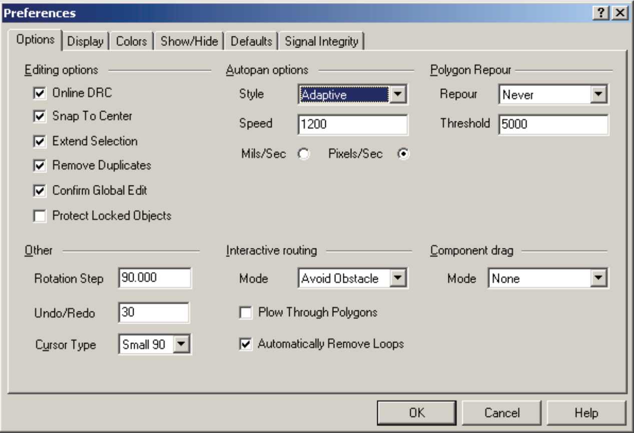


图 5-45 "Preferences"对话框

（1）"Editing options"选项组

此用于设置编辑操作时的一些特性，包括如下选项。

- "Online DRC"复选框用于设置在线设计规则检查。选中此项，在布线过程中，系统自动根据设定的设计规则进行检查。

- “Snap To Center”用于设置当移动元器件封装或字符串时，光标是否自动移动到元器件封装或字符串参考点。系统默认时选中此项。
- “Extend Selection”用于设置当选取电路板组件时，是否取消原来选取的组件。选中此项，系统不会取消原来选取的组件，连同新选取的组件一起处于选取状态。系统默认选中此项。
- “Remove Duplicates”用于设置系统是否自动删除重复的组件。系统默认时选中此项。
- “Confirm Global Edit”用于设置在进行整体修改时，系统是否出现整体修改结果提示对话框。系统默认时选中此项。
- “Protect Locked Objects”用于保护锁定的对象，选中该复选框有效。

（2）“Autopan options”选项组

“Autopan options”选项组用于设置自动移动功能。“Style”选项用于设置移动模式，系统共提供了 7 种移动模式，具体如下。

- “Adaptive”为自适应模式，系统将会根据当前图形的位置自适应选择移动方式。
- “Disable”模式，取消移动功能。
- “Re-Center”模式，当光标移到编辑区边缘时，系统将光标所在的位置设置为新的编辑区中心。
- “Fixed Size Jump”模式，当光标移到编辑区边缘时，系统将以“Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。当按下〈Shift〉键后，系统将以“Shift Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。
- “Shift Accelerate”模式，当光标移到编辑区边缘时，如果“Shift Step”项的设定值比“Step”项的设定值大的话，系统将以“Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。当按下〈Shift〉键后，系统将以“Shift Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。如果“Shift Step”项的设定值比“Step”项的设定值小的话，不管按不按〈Shift〉键，系统都将以“Shift Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。
- “Shift Decelerate”模式，当光标移到编辑区边缘时，如果“Shift Step”项的设定值比“Step”项的设定值大的话，系统将以“Shift Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。当按下〈Shift〉键后，系统将以“Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。如果“Shift Step”项的设定值比“Step”项的设定值小，则不管按不按〈Shift〉键，系统都将以“Shift Step”项的设定值为移动量向未显示的部分移动。
- “Ballistic”模式，当光标移到编辑区边缘时，越往编辑区边缘移动，移动速度越快。系统默认移动模式为“Fixed Size Jump”模式。

（3）“Polygon Repour”选项组

“Polygon Repour”选项组用于设置交互布线中的避免障碍和推挤布线方式。如果在“Repour”下拉列表框中选择“Always”，则可以在已敷铜的 PCB 中修改走线，敷铜会自动重铺。

（4）“Other”选项组

- “Rotation Step“文本框用于设置旋转角度。在放置组件时，按一次〈Space〉键，组件会旋转一个角度，这个旋转角度就是在此设置的。系统默认值为 90°，即按一次〈Space〉键，组件会旋转 90°。

● “Cursor Types”下拉列表框用于设置光标类型。系统提供了 3 种光标类型，即 Small 90（小的 90°光标）、Large 90（大的 90°光标）、Small 45（小的 45°光标）。

● “Undo/Redo”文本框用于设置撤销操作/重复操作的步数。

（5）“Interactive routing”选项组

“Interactive routing”选项组用来设置交互布线模式，用户可以选择 3 种方式：“Ignore Obstacle”（忽略障碍）、“Avoid Obstacle”（避开障碍）和“Push Obstacle”（移开障碍）。

● “Plow Through Polygons”复选按钮如果选中后，则布线时使用多边形来检测布线障碍。

● “Automatically Remove Loops”复选按钮用于设置自动回路删除。选中此项，在绘制一条导线后，如果发现存在另一条回路，则系统将自动删除原来的回路。

（6）“Component drag”选项组

“Component drag”选项组的“Mode”下拉列表框中共有两个选项，即“Component Tracks”和“None”。选择“Component Tracks”，在选择“Edit”→“Move/Drag”命令来移动组件时，与组件连接的铜膜导线会随着组件一起伸缩，不会和组件断开；选择“None”，在选择“Edit”→“Move/Drag”命令来移动组件时，与组件连接的铜膜导线会和组件断开，此时菜单命令“Edit”→“Move/Drag”和“Edit”→“Move/Move”没有区别。

2．“Display”选项卡

“Display”选项卡如图 5-46 所示。“Display”选项卡用于设置屏幕显示和元器件显示模式，其中主要可以设置如下一些选项。

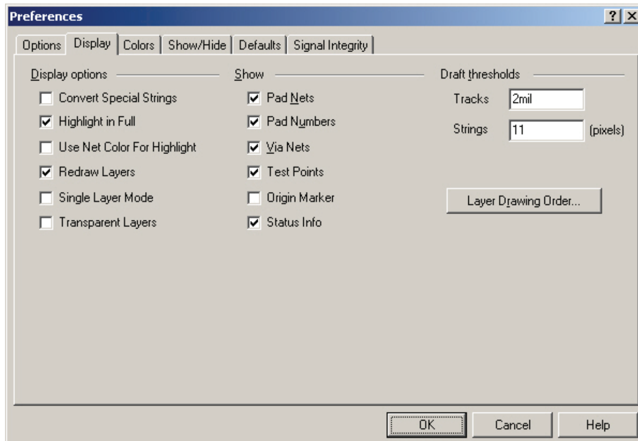


图 5-46 “Display”选项卡

（1）“Display options”选项组

屏幕显示可以通过“Display options”选项组的选项设置。

● “Convert Special Strings”复选按钮用于设置是否将特殊字符串转化成它所代表的文字。

● “Highlight in Full”复选按钮用于使所选网络亮显。

● “Use Net Color For Highlight”复选按钮对于选中的网络，用于设置是否仍然使用网络的颜色，还是一律采用黄色。

● “Redraw Layers”复选按钮用于设置当重画电路板时，系统将一层一层地重画。当前的层最后才会重画，所以最清楚。

- “Single Layer Mode”复选按钮用于设置只显示当前编辑的层，其他层不被显示。
- “Transparent Layers”复选按钮用于设置所有的层都为透明状，选择此项后，所有的导线、焊盘都变成了透明色。

（2）“Show”选项组

PCB 板显示设置可以通过“Show”选项组设置。

- “Pan Nets”用于设置是否显示焊盘的网络名称。
- “Pad Numbers”用于设置是否显示焊盘序号。
- “Via Nets”用于设置是否显示过孔的网络名称。
- “Test Points”选中后，可显示测试点。
- “Origin Marker”用于设置是否显示指示绝对坐标的黑色带叉圆圈。

“Status Info”用于显示状态信息。

（3）“Draft thresholds”选项组

“Draft thresholds”选项组用于设置显示图形显示极限，“Tracks”文本框设置的数目为导线显示极限，如果大于该值的导线，则以实际轮廓显示，否则只以简单直线显示；“Strings”文本框设置的数目为字符显示极限，如果像素大于该值的字符，则以文本显示，否则只以框显示。

3．“Colors”选项卡

“Colors”选项卡如图 5-47 所示，该选项卡用于设置层的颜色。

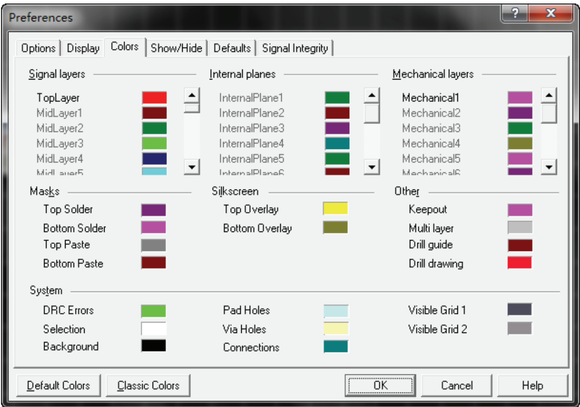


图 5-47 “Colors”选项卡

设置层颜色时，单击层右边的颜色块即可从打开“颜色选择”对话框，并选择需要设置的颜色。层颜色设置对话框中有一个“Default”按钮，单击该按钮，层颜色被恢复成系统默认的颜色。另外，单击“Classic”按钮，系统会将层颜色指定为传统的设置颜色，即 DOS 中采用的黑底设计界面。

4．“Show/Hide”选项卡

“Show/Hide”选项卡如图 5-48 所示，“Show/Hide”选项卡用于设置各种图形的显示模式。

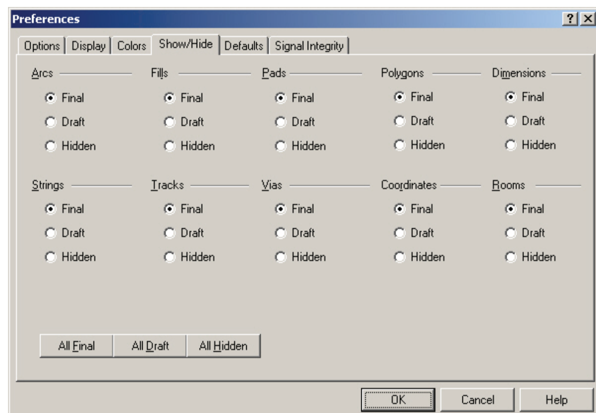


图 5-48 “Show/Hide”选项卡

选项卡中每一项，都有相同的 3 种显示模式，即“Final”（精细）显示模式、“Draft”（简易）显示模式和不显示模式。

在该选项卡中，用户可以分别设置 PCB 板的几何对象的显示模式。

5．“Defaults”选项卡

“Defaults”选项卡如图 5-49 所示。

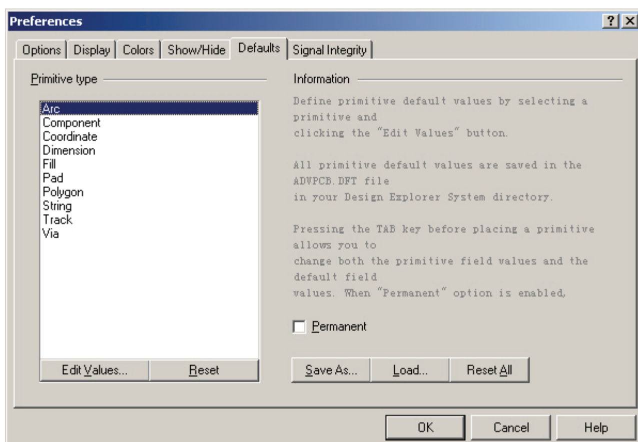


图 5-49 “Defaults”选项卡

“Defaults”选项卡用于设置各个组件的系统默认设置。各个组件包括 Arc（圆弧）、Component（元器件封装）、Coordinate（坐标）、Dimension（尺寸）、Fill（金属填充）、Pad（焊盘）、Polygon（敷铜）、String（字符串）、Track（铜膜导线）、Via（过孔）等。

各项的修改会在取用元器件封装时反映出来。

6．“Signal Integrity”选项卡

“Signal Integrity”选项卡如图 5-50 所示。通过该选项卡可以设置元器件标号和元器件类型之间的对应关系，为信号完整性分析提供信息。

单击“Add”按钮，系统将弹出如图 5-51 所示的“Component Type”对话框。在该对话框中，可以输入所用的元器件标号，从“Component Type”（元器件类型）下拉列表框（如图 5-52）选中元器件类型，如“Capacitor（电容）”。

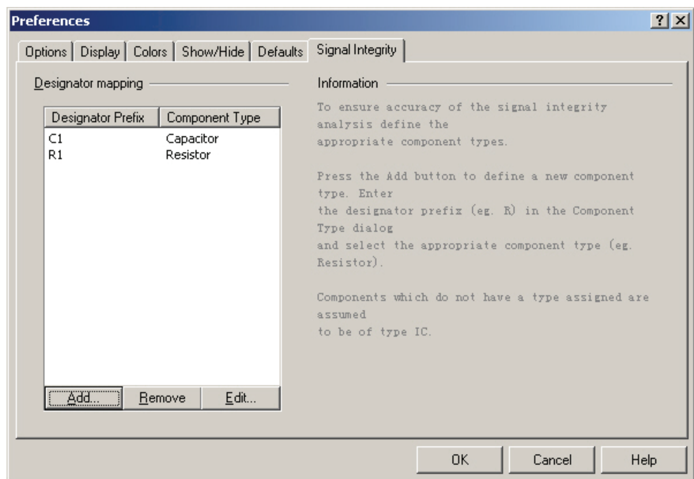


图 5-50 “Signal Integrity”选项卡

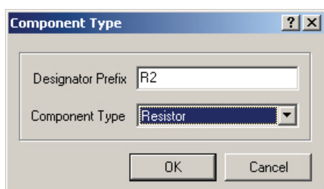


图 5-51 “Component Type”对话框

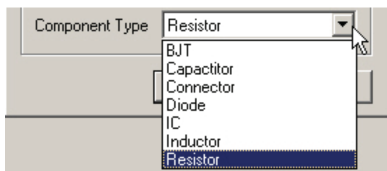


图 5-52 元器件类型选择下拉列表框

在此添加完元器件标号后，下一步就可以进行 PCB 的 DRC 检查，这将在后面有关章节讲解。

5.6.4 PCB 参数设置技巧

PCB 参数设置技巧如下。

1）印制导线的宽度：导线宽度应以能满足电气性能要求而又便于生产为宜，它的最小值以承受的电流大小而定，但最小不宜小于 0.2mm，在高密度、高精度的印制线路中，导线宽度和间距一般可取 0.3mm；导线宽度在大电流情况下还要考虑其温升，单面板实验表明，当铜箔厚度为 50μm、导线宽度 1～1.5mm、通过电流 2A 时，温升很小，因此，一般选用 1～1.5mm 宽度导线就可能满足设计要求而不致引起温升；印制导线的公共地线应尽可能地粗，可能的话，使用大于 2～3mm 的线条，这点在带有微处理器的电路中尤为重要，因为当地线过细时，由于流过电流的变化，地电位变动，微处理器定时信号的电平不稳，会使噪声容限劣化；在 DIP 封装的 IC 引脚间走线，可应用 10－10 与 12－12 原则，即当两脚间通过 2 根线时，焊盘直径可设为 50mil、线宽与线距都为 10mil，当两脚间只通过 1 根线时，焊盘直径可设为 64mil、线宽与线距都为 12mil。

2）焊盘的直径和内孔尺寸：焊盘的内孔尺寸必须从元器件引线直径和公差尺寸以及搪锡层厚度、孔径公差、孔的金属化电镀层厚度等方面考虑，焊盘的内孔一般不小于 0.6mm，因为小于 0.6mm 的孔开模冲孔时不易加工，通常情况下以金属引脚直径值加上 0.2mm 作为焊盘内孔直径，如电阻的金属引脚直径为 0.5mm 时，其焊盘内孔直径对应为 0.7mm，焊盘

直径取决于内孔直径，如表 5-5。

表 5-5　孔直径与焊盘直径对照

孔直径/mm	焊盘直径/mm
0.4	1.5
0.5	1.5
0.6	2
0.8	2.5
1.0	3.0
1.2	3.5
1.6	4
2.0	5

对于超出上表范围的焊盘直径可用下列公式选取：

直径小于 0.4mm 的孔：$D/d=0.5\sim3$

直径大于 2mm 的孔：$D/d=1.5\sim2$

式中，D 为焊盘直径；d 为内孔直径。

3）大面积的敷铜：PCB 上大面积的敷铜有两种作用，一种是散热，另一种用于屏蔽来减小干扰。初学者设计 PCB 时常犯的一个错误是大面积敷铜上没有开窗口，而由于 PCB 板材的基板与铜箔间的黏合剂在浸焊或长时间受热时，会产生挥发性气体无法排除，热量不易散发，以致产生铜箔膨胀，脱落现象。因此在使用大面积的敷铜时，应将其开窗口设计成网状。

4）PCB 的厚度应根据其功能及所装元器件的重量、PCB 插座规格、PCB 的外形尺寸和所承受的机械负荷来决定。多层 PCB 的总厚度及各层间厚度的分配应根据电气和结构性能的需要以及覆箔板的标准规格来选取。常见的 PCB 厚度有 0.5mm、1mm、1.5mm、2mm 等。

5.7　PCB 布线和图形绘制工具

PCB 设计服务器提供了绘图工具栏“Placement Tools”，如图 5-53 所示。可以选择“View”→“Toolbars”→“Placement Tools”命令来实现工具栏的打开与关闭，工具栏中每一项都与命令“Place”下的各项对应。



图 5-53　Placement Tools 工具栏

5.7.1　绘制导线

当需要绘制导线时，一般首先选择“Place”→“Keepout”→“Track”命令或单击绘图工具栏中的按钮，执行绘制导线命令。执行绘制导线命令后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定导线的起点，然后将光标移到导线的终点，再单击即可绘制出一条导线，如图 5-54 所示。在放置导线的同时，可以按〈Tab〉键打开导线属性设置对话框，设置导线的参数。

将光标移到新的位置，按照上述步骤，再绘制其他导线。右击两次后，光标变成箭头

后，退出该命令状态。

绘制了导线后，还可以对导线进行编辑处理，并设置导线的属性。

双击已布的导线，或者在进入绘制导线状态时按〈Tab〉键，或者选中导线后右击，从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，系统将弹出如图 5-55 所示的“Track（导线属性）”对话框，对话框中的各个选项说明如下。

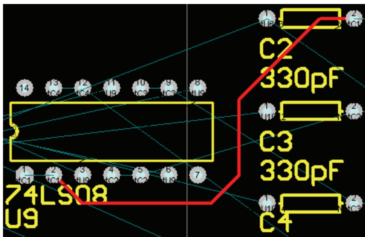


图 5-54 绘制出一根导线

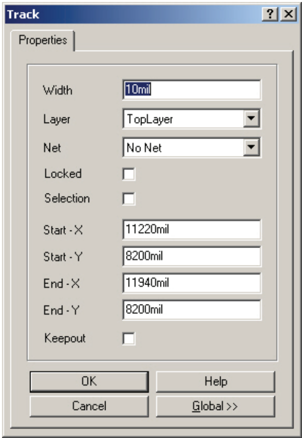


图 5-55 “Track”对话框

- Width：设定导线宽度。
- Layer：设定导线所在的层。
- Net：设定导线所在的网络。
- Locked：设定导线位置是否锁定。
- Selection：设定导线是否处于选取状态。
- Start-X：设定导线起点的 X 轴坐标。
- Start-Y：设定导线起点的 Y 轴坐标。
- End－X：设定导线终点的 X 轴坐标。
- End－Y：设定导线终点的 Y 轴坐标。
- Keepout：该复选按钮选中后，则此导线具有电气边界特性。

5.7.2 放置焊盘

通常在制作元器件封装时，需要使用焊盘，以便实现元器件引脚在 PCB 上的焊接。

1．放置焊盘的步骤

1）首先单击绘图工具栏中的放置焊盘命令按钮 ，或选择“Place”→“Pad”命令。

2）执行该命令后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击即可将一个焊盘放置在该处。

3）将光标移到新的位置，按照上述步骤，再放置其他焊盘。如图 5-56 所示为放置了多个焊盘的电

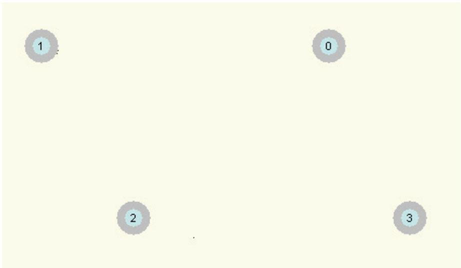


图 5-56 放置焊盘

路板。右击两次后，光标变成箭头后，退出该命令状态。

4）用户还可以在此命令状态下，按〈Tab〉键，进入如图 5-57 所示的“Pad（焊盘属性）”对话框，作进一步的修改。

2．焊盘属性设置

在放置焊盘的状态下按〈Tab〉键或在已放置的焊盘上双击，都可以打开如图 5-58 所示的“Pad”对话框。对话框中包括 3 个选项卡，分别如下所述。

（1）“Properties”选项卡

- Use Pad Stack：设定采用特殊焊盘，选择此复选框后，本选项卡将不可设置。
- X-Size：设定焊盘 X 轴尺寸。
- Y-Size：设定焊盘 Y 轴尺寸。
- Shape：选择焊盘形状。单击右侧的下拉列表框，即可选择焊盘形状，这里共有 3 种焊盘形状，即 Round（圆形）、Rectangle（正方形）和 Octagonal（八角形）。
- Designator：设定焊盘序号。
- Hole Size：设定焊盘通孔直径。
- Layer：设定焊盘所在层。通常多层电路板焊盘层为 MultiLayer。
- Rotation：设定焊盘旋转角度，对圆形焊盘没有意义。
- X-Location：设定焊盘的 X 轴坐标。
- Y-Location：设定焊盘的 Y 轴坐标。
- Testpoint：有两个选项，即“Top”和“Bottom”，如果选择了这两个复选按钮，则可以分别设置该焊盘的顶层或底层为测试点，设置测试点属性后，在焊盘上会显示 Top & Bottom Test-point 文本，并且 Locked 属性同时也被自动选中，使该焊盘被锁定。

（2）“Pad Stack”选项卡

“Pad Stack”选项卡中共有 3 个选项组，即“Top”“Middle”和“Bottom”选项组，如图 5-58 所示。

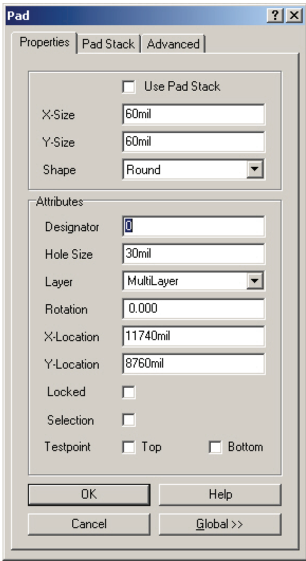


图 5-57 “Pad”对话框

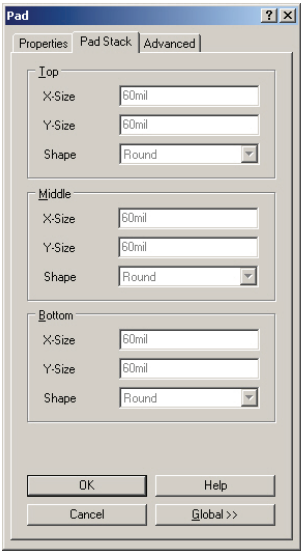


图 5-58 “Pad Stack”选项卡

3 个选项组分别用于指定焊盘在顶层、中间层和底层的大小和形状。每个选项组里的选项都具有相同的 3 个选项。

- X-Size：设定焊盘 X 轴尺寸。
- Y-Size：设定焊盘 Y 轴尺寸。
- Shape：选择焊盘形状。单击右侧的下拉列表框，即可选择焊盘形状。焊盘形状有 3 种，即 Round（圆形）、Rectangle（正方形）和 Octagonal（八角形）。

（3）“Advanced”选项卡

“Advanced”选项卡如图 5-59 所示。

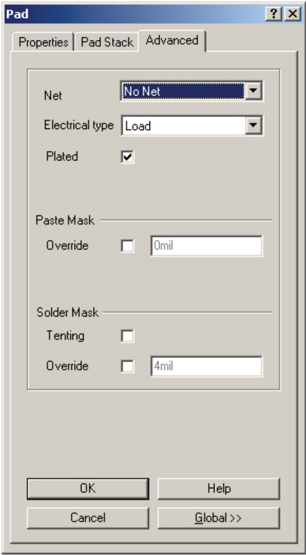


图 5-59 “Advanced”选项卡

- Net：设定焊盘所在网络。
- Electrical type：指定焊盘在网络中的电气属性，它包括 Load（中间点）、Source（起点）和 Terminator（终点）。
- Plated：设定是否将焊盘的通孔孔壁加以电镀。
- Solder Mask：为设置焊盘的助焊膜属性，选择“Override”复选按钮可设置助焊延伸值，这对于设置 SMT（贴片封装）式的焊点非常有用。如果选中“Tenting”复选按钮，则助焊膜是一个隆起，此时不能设置助焊延伸值。
- Paste Mask：为设置焊盘阻焊膜的属性，可以修改“Override”阻焊延伸值。

5.7.3 放置过孔

过孔是为了实现通过不同层之间的网络连接而设置的通孔或盲孔，过孔的多少对 PCB 的性能具有很大影响，特别是高速 PCB 的设计。

1．放置过孔

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Via”命令。

2）执行命令后，光标变成十字形状，将光标移到所需的位置，单击即可将一个过孔放置在该处。

3）将光标移到新的位置，按照上述步骤，再放置其他过孔，如图 5-60 所示为放置了过孔后的图形。

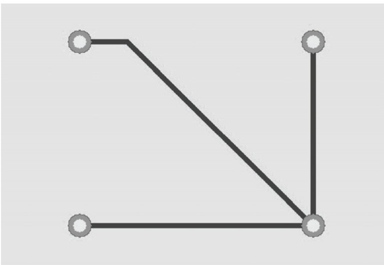


图 5-60 放置多个过孔

4）右击两次后，光标变成箭头后，退出该命令状态。

2．过孔属性设置

在放置过孔时按〈Tab〉键或者在 PCB 上双击过孔，系统将会弹出如图 5-62 所示的“Uia（过孔属性）”对话框。

如图 5-61 所示，“Properties”选项卡中各选项的意义如下。

- Diameter：设定过孔直径。
- Hole Size：设定过孔的通孔直径。
- Start Layer：设定过孔穿过的开始层，设计者可以分别选择 Top（顶层）和 Bottom（底层）。
- End Layer：设定过孔穿过的结束层，设计者也可以分别选择 Top（顶层）和 Bottom（底层）。
- Net：将会显示该过孔是否与 PCB 板的网络相连。
- Testpoint：与焊盘的属性对话框相应的选项意义一致。
- Solder Mask：为设置过孔的助焊膜属性，用户可以选择“Override”来设置助焊延伸值。如果选中“Tenting”复选框，则助焊膜是一个隆起，此时不能设置助焊延伸值。

如果想设置过孔的更多属性，可以单击“Global”按钮，系统将会打开过孔属性全局对话框，设置其他属性。

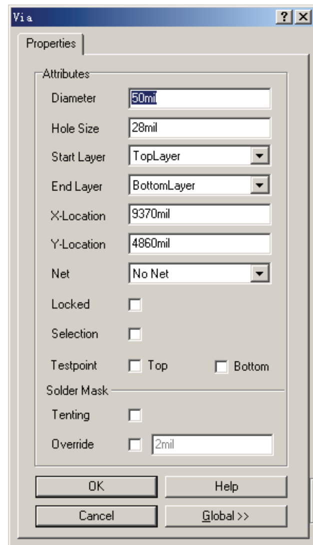


图 5-61 “Via”对话框

5.7.4 补泪滴设置

焊盘和过孔等可以进行补泪滴设置。泪滴焊盘和过孔形状可以定义为弧形或线性，可以对选中的实体，也可以对所有过孔或焊盘进行设置。选择“Tools”→“Teardrop Options”命令来进行设置，执行该命令后，系统将弹出如图 5-62 所示的“Teardrop Options”对话框。

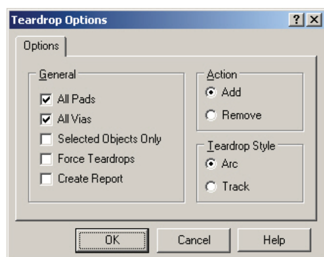


图 5-62 “Teardrop Options”对话框

注意：对于表贴元器件的安装焊盘最好进行补泪滴。对 PCB 的过孔也应该补泪滴。

如果要对单个焊盘或过孔补泪滴，可以先双击焊盘或过孔，使其处于选中状态，然后选择“Teardrop Options”对话框中的“All Pads”或“Selected Objects Only”复选框，最后单击“OK”按钮结束。

5.7.5 放置字符串

在绘制印制电路板时，常常需要在板上放置字符串（仅为英文），放置字符串的具体步骤如下。

1）单击绘图工具栏中的按钮 **T**。

2）执行命令后，光标变成了十字形状，在此命令状态下，按〈Tab〉键，会出现如图 5-63 所示的“String”对话

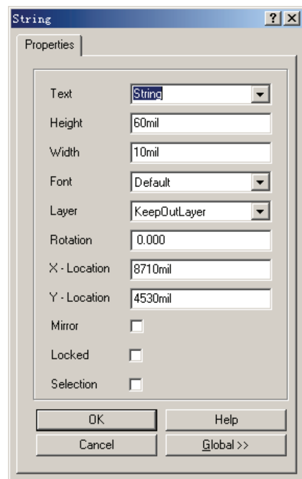


图 5-63 “String”对话框

框，在这里可以设置字符串的内容和大小。

3）设置完成后，退出对话框，单击把字符串放到相应的位置，如图 5-64 所示。

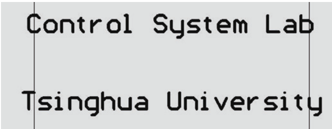


图 5-64　放置多个字符串

4）用同样的方法放置其他字符串标注。用户要更换字符串标注的方向只需按〈Space〉键即可进行调整，或在图 5-63 的“String”对话框中的“Rotation”文本框中输入字符串旋转角度。

当放置了字符串后，如果需要对其进行编辑，则可选中字符串，然后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击字符串，系统也将会弹出“String”对话框。

- Text：用来输入字符串内容。
- Height：用来设置字符串的高度。
- Width：设置字符串的宽度。
- Mirror：选中则字符串以镜像方式放置。

5.7.6　放置坐标

此命令是将当前鼠标所处位置的坐标放置在工作平面上，其具体步骤如下。

1）单击绘图工具栏中的按钮。

2）执行命令后，光标变成了十字形状，在此命令状态下，按〈Tab〉键，会出现如图 5-65 所示的“Coordinate”对话框。按要求设置该对话框。

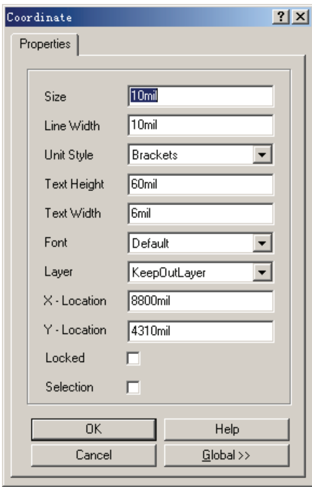


图 5-65　Coordinate 对话框

3）设置完成后，退出对话框，单击把坐标放到相应的位置，如图 5-66 所示。

4）用同样的方法放置其他坐标放置。

当放置了坐标后，如果需要对其进行编辑，则可选中坐标，然后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击坐标，系统也将会弹出“Coordinate”对话框。

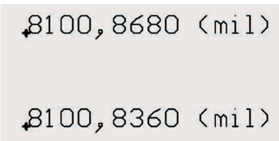


图 5-66　放置多个坐标

5.7.7　放置尺寸标注

在设计印制电路板时，有时需要标注某些尺寸的大小，以方便印制电路板的制造。放置尺寸标注的具体步骤如下。

1）单击绘图工具栏中的按钮，系统出现如图 5-67 所示的状态。

2）移动光标到尺寸的起点，单击即可确定标注尺寸的起始位置。

3）移动光标，中间显示的尺寸随着光标的移动而不断地发生变化，到合适的位置单击加以确认，即可完成尺寸标注，如图 5-68 所示。

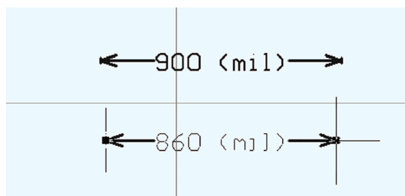


图 5-67　执行尺寸标注命令后的状态

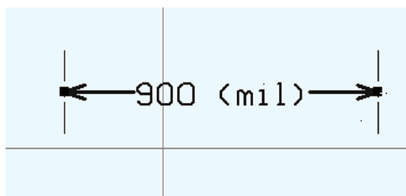


图 5-68　完成的一个尺寸标注

4）用户还可以在放置尺寸标注命令状态下，按〈Tab〉键，进入如图 5-69 所示的“Dimension”对话框，作进一步的修改。

当放置了尺寸标注后，如果需要对其进行编辑，则可选中尺寸标注，然后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击尺寸标注，系统也将会弹出如图 5-70 所示的“Dimension（尺寸标注属性）”对话框。

5）将光标移到新的位置，按照上述步骤，再放置其他标注。

6）右击两次后，光标变成箭头后，退出该命令状态。

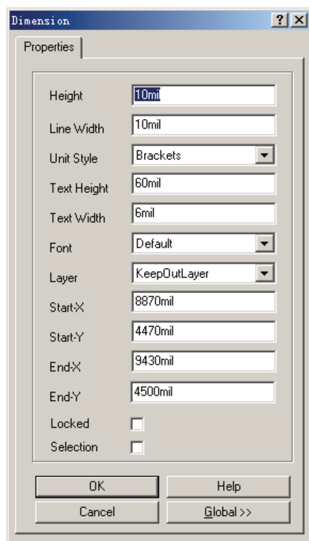


图 5-69 “Dimension”对话框

5.7.8　设置初始原点

在设计电路板的过程中，用户一般使用程序本身提供的坐标系，如果用户自己定义坐标系，只需设置用户坐标原点，具体步骤如下。

1）单击绘图工具栏中的按钮，或者选择“Edit”→“Origin”→“Set”命令。

2）执行命令后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击即可将该点设置为用户定义坐标系的原点。

3）选择“Edit”→“Origin”→“Reset”可恢复原来的坐标系。

5.7.9　绘制圆弧或圆

Protel 99 SE 提供了 3 种绘制圆弧的方法：中心法、边缘法和角度旋转法。

1．边缘法

边缘法就是通过圆弧上的两点即起点与终点来确定圆弧的大小，其绘制过程如下。

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Arc(Edge)”命令。

2）执行该命令后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定圆弧的起点。然后再移动鼠标到适当位置单击，确定圆弧的终点。

3）单击确认，即得到一个圆弧，如图 5-70 所示为使用边缘法绘制的圆弧。

2．中心法

中心法绘制圆弧就是通过确定圆弧中心、圆弧的起点和终点来确定一个圆弧。

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Arc(Center)”命令。

2）执行命令后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定圆弧的中心。

3）将光标移到所需的位置，单击确定圆弧的起点，再移动鼠标到适当位置单击，确定圆弧的终点。

4）单击确认，即可得到一个圆弧，图 5-71 所示为使用中心法绘制的圆弧。

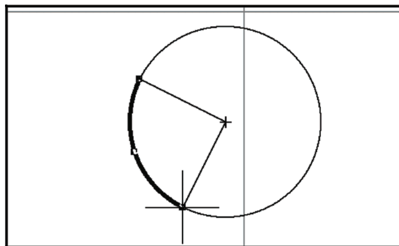


图 5-70　边缘法绘制圆弧

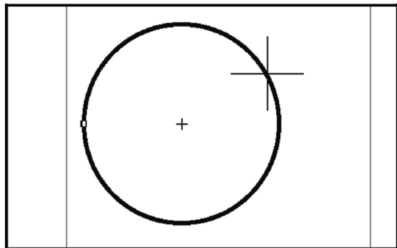


图 5-71　中心法绘制圆弧

3. 角度旋转法

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Arc(Any Angle)”命令。

2）执行该命令后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定圆弧的起点。然后再移动鼠标到适当位置单击，确定圆弧的圆心，最后再单击确定圆弧终点。

3）单击加以确认，即可得到一个圆弧。

4. 绘制圆

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Full Circle”命令。

2）执行该命令后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定圆的圆心，然后再单击确定圆的大小。

3）单击加以确认，即可得到一个圆，如图 5-72 所示。

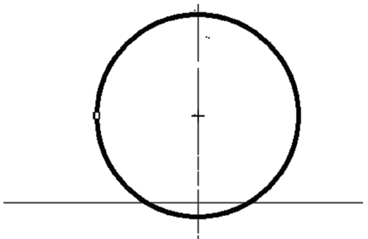


图 5-72　绘制的圆

5. 编辑圆弧

当绘制好圆弧后，如果需要对其进行编辑，则可选中圆弧，然后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击圆弧，系统也将会弹出如图 5-73 所示的“Arc（圆弧属性）”对话框。在绘制圆弧状态下，也可以按〈Tab〉键，先编辑好对象，再绘制圆弧。

- Width：设置圆弧的宽度。
- Layer 下拉列表：用来选择圆弧所放置的层位置。
- Net 下拉列表：用来设置圆弧的网络层。
- X-Center 和 Y-Center：用来设置圆弧的圆心位置。
- Radius：设置圆弧的半径。
- Start Angle：设置圆弧的起始角。
- End Angle：设置圆弧的终止角。
- Locked：设置是否锁定圆弧。

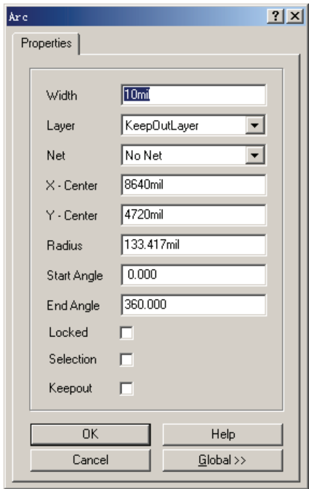


图 5-73　“Arc”对话框

5.7.10　放置填充

填充一般用于制作 PCB 插件的接触面或者用于增强系统的抗干扰性而设置的大面积电源或地。在制作电路板的接触面时，则放置填充的部分在实际制作的电路板上是外露的敷铜区。填充通常放置在 PCB 的顶层、底层或内部的电源和接地层上，放置填充的一般操作方法如下。

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Keepout/Fill”命令。

2）执行该命令后，用户只需确定矩形块的左上角和右下角位置即可，如图 5-74 所示为放置的填充。

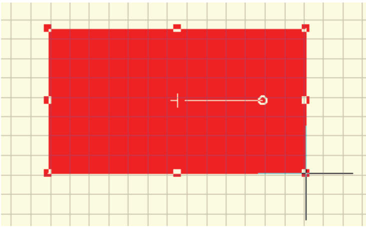


图 5-74　放置的填充

当放置了填充后，如果需要对其进行编辑，则可选中填充，然后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击坐标，系统也将会弹出如图 5-75 所示的“Fill（填充属性）”对话框。在放置填充状态下，也可以按〈Tab〉键，先编辑好对象，再放置填充。

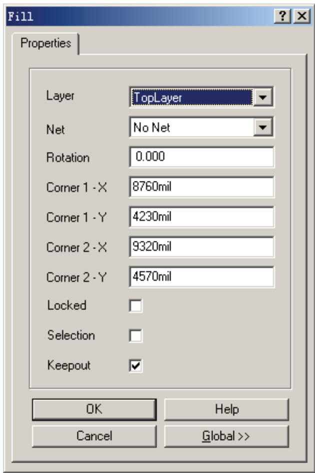


图 5-75　“Fill”对话框

5.7.11　放置多边形平面

多边形平面与填充类似，经常用于大面积电源或接地，以增强系统的抗干扰性。对 PCB 进行敷铜时，常使用多边形平面。下面讲述放置多边形的方法。

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Polygon Plane”命令。

2）执行此命令后，系统将会弹出如图 5-76 所示的“Polygon Plane（多边形属性）”对话框。

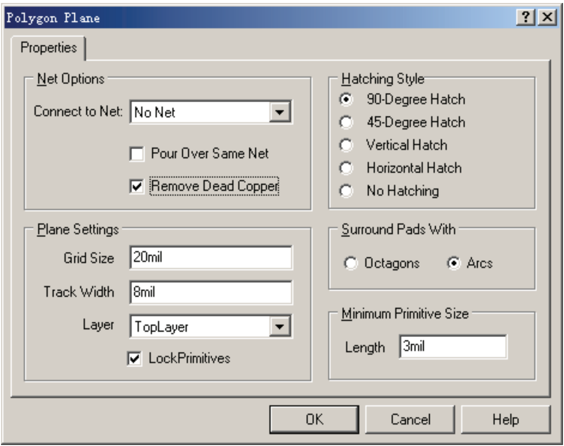


图 5-76　“Polygon Plane”对话框

3）设置完对话框后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定多边形

的起点。然后再移动鼠标到适当位置单击，确定多边形的中间点。

4）在终点处右击，程序会自动将终点和起点连接在一起，形成一个封闭的多边形平面，如图 5-77 所示。

当放置了多边形平面后，如果需要对其进行编辑，则可选中多边形平面，然后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击坐标，系统也将会弹出如图 5-76 所示的“Polygon Plane”对话框。

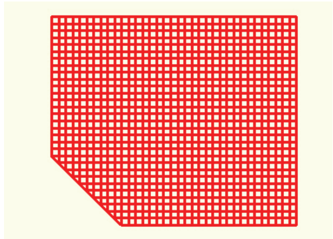


图 5-77　多边形平面填充

5.7.12　放置电源平面的切分多边形

切分多边形与多边形类似，不过它是用来分割内部电源层（Internal Plane）。有时候在一层电源层上可能需要有两个参考镜像平面，比如在某一层内部电源层上同时需要有 VCC 参考平面和 GND 参考平面，那么此时就需要使用切分多边形来对内部电源层进行分隔。下面讲述放置切分多边形的方法。

1）单击绘图工具栏中的按钮，或选择“Place”→“Split Plane”命令。

2）执行此命令后，系统将会弹出如图 5-78 所示的“Split Plane”对话框。

在该对话框中，可以在“Layer”下拉列表中选择需要分给的内部电源层，在“Connect to Net”下拉列表框中选择切分多边所连接的电源参考，如 GND 或其他电源参考。“Track Width”为切分多边形的线宽。

3）设置完对话框后，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定多边形的起点。然后再移动鼠标单击，确定多边形的中间点。

4）在终点处右击，程序会自动将终点和起点连接在一起，形成一个封闭的切分多边形，如图 5-79 所示，为该多边形内部在“Connect to Net”下拉列表框中选择的参考平面。

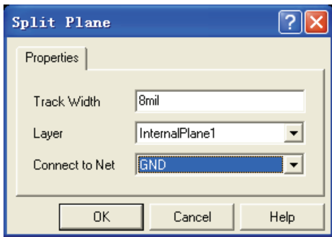


图 5-78　“Split Plane”对话框

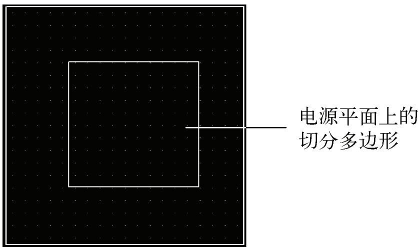


图 5-79　切分多边形填充

当放置了切分多边形后，如果需要对其进行编辑，则可选中切分多边形，然后右击，从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击坐标，系统也将会弹出如图 5-78 所示的“Split Plane”对话框。

注意：要设置切分多边形填充，必须已经设置了内部电源（Internal Plane）或接地层，否则该命令不起作用。

5.7.13　放置房间定义

在对电路图布线获取 PCB 图形时，可以将元器件、元器件类或封装分配给一个房间，房间可以定义在顶层或底层，并且可以确定目标保持在其内或其外。当移动房间时，房间内的实体也随之移动。房间定义可以设定无效，也可以被锁定。房间的主要作用就是使其内部的元器件成为一个组，以便进行相关的操作。

放置房间定义可以选择“Place”→“Room”命令实现，也可以直接单击绘图工具栏中的按钮▨激活该命令，具体操作过程如下。

1）单击绘图工具栏中的按钮▨，或选择“Place”→“Room”命令。

2）将光标移到所需的位置，单击确定房间定义的起点。然后再移动鼠标单击，确定房间定义的对角点。放置的房间定义如图 5-80 所示。如果继续在其他地方放置房间定义，则 Room Definition 会自动增加序列，用户也可以修改这个名称为自己需要的名称，这需要在房间定义属性对话框中实现。

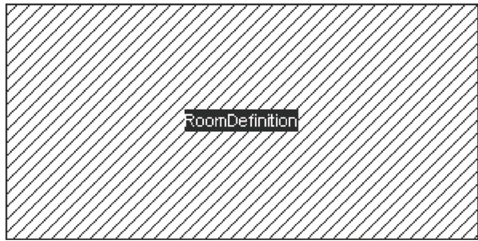


图 5-80　放置的空间定义

当放置了房间定义后，如果需要对其进行编辑，则可选中房间定义，然后右击，从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击房间定义，系统也将会弹出如图 5-81 所示的“Room Definition（房间定义属性）”对话框。

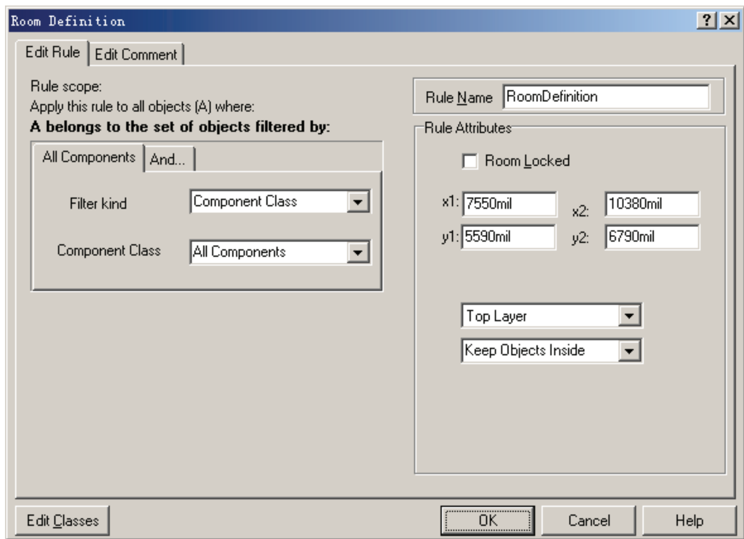


图 5-81　“Room Definition”对话框

● Rule Name（规则名）：用户可以设置该房间定义所应用的规则名，也可以输入自己定义的名称。
● Room Locked：选中该复选框后，该房间定义被锁定。
● x1/y1/x2/y2：这 4 个文本框用来设定房间定义的对角点坐标，以确定房间定义大小。

用户可以选择房间定义的位置是 PCB 的 Top Layer（顶层）还是 Bottom Layer（底层），也可以选择房间内部是否允许存在对象（选择 Keep Object Inside 或 Keep Object Outside）。

用户还可以设置房间定义所应用的范围，这可以通过“Filter Kind”（筛选种类）下拉列表框设置，并可选择所筛选类别的子类（Class）。

5.8 制作与管理元器件封装

在进行 PCB 设计时，经常需要使用而元器件封装库里又找不到的元器件封装，这就需要使用元器件封装编辑器来生成一个新元器件封装。在本节中，主要介绍使用 PCBLIB 制作元器件封装的两种方法，即手工方法和利用向导（Wizard）的方法，以及元器件封装的管理。

5.8.1 启动元器件封装编辑器

Protel 99 SE 元器件封装库编辑服务器的启动步骤如下。

1）选择“File”→“New”命令，显示“New Document”对话框，从对话框中选择“PCB Library Document（元器件封装编辑器）”图标，如图 5-82 所示。

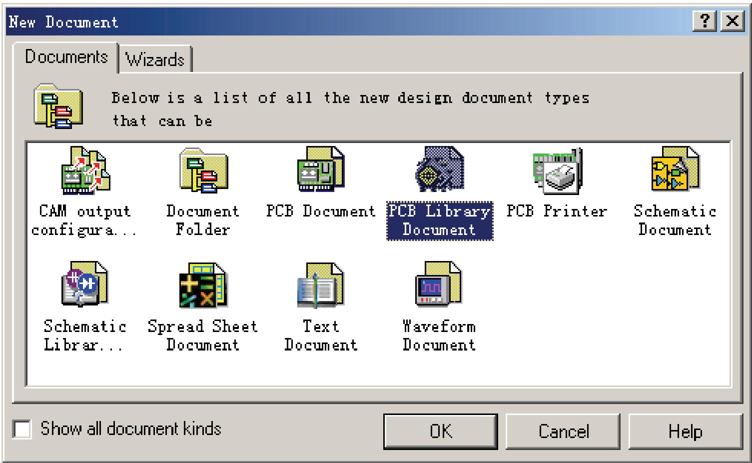


图 5-82 “New Document”对话框

2）单击“OK”按钮，就可以建立元器件封装编辑文档，此时用户可以修改文档名。

3）此时双击设计管理器中的元器件封装文档图标，就可以进入元器件封装编辑工作界面，如图 5-83 所示。

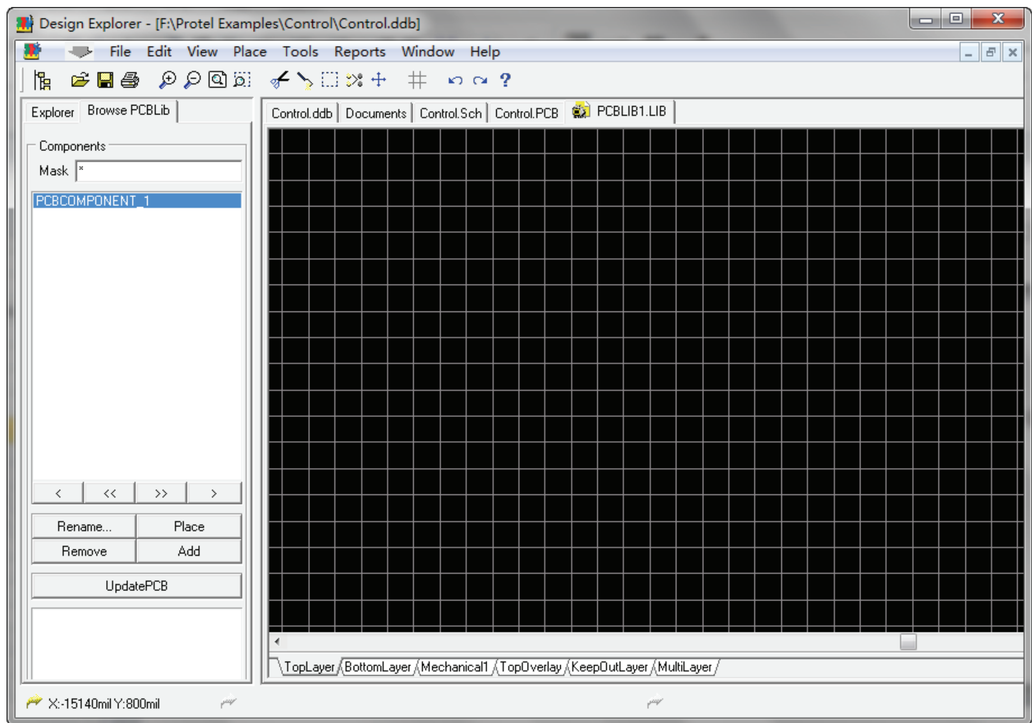


图 5-83　元器件封装编辑器界面

5.8.2　元器件封装编辑器介绍

PCB 元器件封装编辑器的界面和 PCB 编辑器比较类似。下面简单地谈一下 PCB 元器件封装编辑器的组成及其画面的管理，使用户对元器件封装编辑器有一个简单的了解。

图 5-83 是 PCB 元器件封装编辑器的编辑界面，从该图中可以看出，整个编辑器可以分为以下几个部分。

1）主菜单，PCB 元器件的主菜单主要是给用户提供编辑、绘图命令，以便于创建一个新元器件。

2）元器件编辑界面（Components Editor Panel），主要用于创建一个新元器件，将元器件放置到 PCB 工作平面上，用于更新 PCB 元器件库，添加或删除元器件库中的元器件等各项操作。

3）主工具栏（Main Toolbars），为用户提供了各种图标操作方式，可以让用户方便、快捷地执行命令和各项功能。如打印、存盘等操作，均可以通过主工具栏来实现。

4）绘图工具（Placement Tools），PCB 元器件封装编辑器提供的绘图工具，同以往所接触到的绘图工具是一样的，它的作用类似于菜单命令“Place”，是在工作平面上放置各种图元，如焊点、线段、圆弧等。

5）元器件封装库管理器，主要用于对元器件封装库进行管理。

6）状态栏与命令行，在屏幕最下方为状态栏和命令行，它们用于提示用户当前系统所处的状态和正在执行的命令。

同前面章节所述一样，PCB 元器件封装编辑器也提供了相同的画面管理，包括画面的放大、缩小，各种管理器、工具栏的打开与关闭。画面的放大、缩小处理可以通过“View”菜单进行，如选择“View”→“Zoom In”或“View”→“Zoom out”命令等。用户也可以通过选择主工具栏上的放大按钮和缩小按钮，来实现画面的放大与缩小。

5.8.3 创建新的元器件封装

下面讲述如何创建一个新的 PCB 元器件封装。假设要建立一个新的元器件封装库，作为用户自己的专用库。元器件库的文件名为 PCBlib1.lib，并将要创建的新元器件封装放置到该元器件库中。

下面以图 5-84 所示的实例，来介绍如何手动创建元器件封装。通过手动创建元器件封装，实际上就是利用 Protel 99 SE 提供的绘图工具，按照实际的尺寸绘制出该元器件封装。

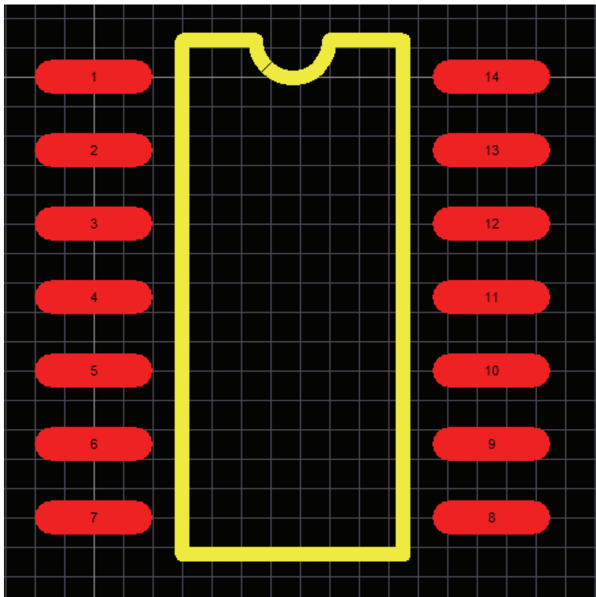


图 5-84　手动创建元器件封装实例

一般，手动创建新的元器件封装需要首先设置封装参数，然后再放置图形对象，最后还需要设定插入参考点。下面分别结合实例进行讲解。

1．元器件封装参数设置

当新建一个 PCB 元器件封装库文件后，一般需要先设置一些基本参数，例如度量单位、过孔的内孔层、设置鼠标移动的最小间距等，但是创建元器件封装不需要设置布局区域，因为系统会自动开辟一个区域供用户使用。

（1）板面参数设置

设置板面参数的操作步骤如下。

1）选择“Tools”→“Library Options”命令，系统将弹出如图 5-85 所示的“Document Options”对话框。

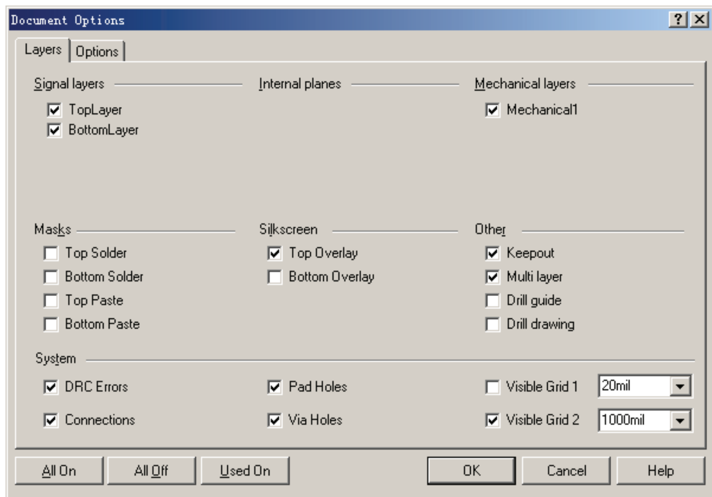


图 5-85 “Document Options”对话框

2）在如图 5-85 所示的“Layers”选项卡中，可以设置元器件封装的层参数，一般用户可以选中“Pad Holes”（焊盘内孔）和“Via Holes”（过孔）两个复选框，其他则默认。

3）“Options”选项卡如图 5-86 所示。在该选项卡中可设置 Snap（格点）、Electrical Grid（电气栅格）、Measurement Unit（计量单位）等，在这里“Snap”和“Component”间距设置均为 10mil。

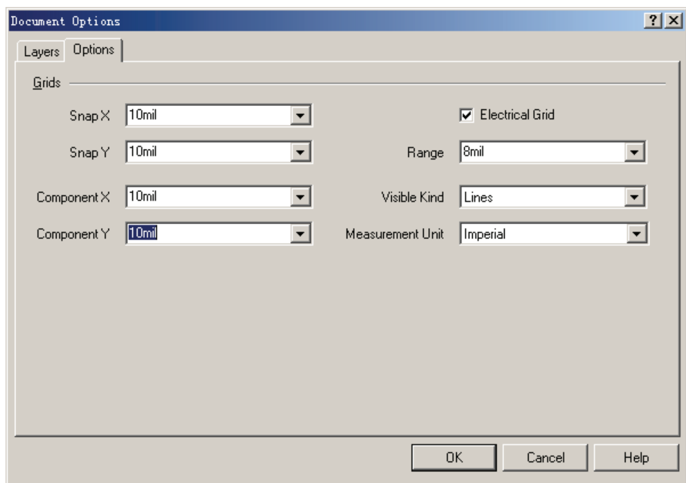


图 5-86 “Options”选项卡

4）设置结束后，单击“OK”按钮。

（2）系统参数设置

首先选择“Tools”→“Preferences”命令，系统将弹出如图 5-87 所示的“Preferences”对话框。它共有 6 个选项卡，即“Options”选项卡、“Display”选项卡、“Colors”选项卡、“Show/Hide”选项卡、“Defaults”选项卡、“Signal Integrity”选项卡，一般设定“Options”选项卡的各项参数即可，该选项卡的各选项的设置可以参考 5.6.3 节。

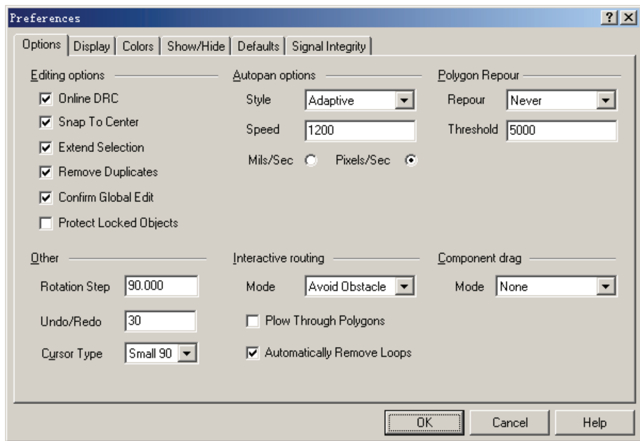


图 5-87 “Preferences”对话框

当设置元器件颜色时，通常 Top OverLayer（顶层丝印层）颜色为黄色，Pad Holes 颜色设置为 White（白色），颜色设置可以通过“Display”选项卡实现，也可以使用系统默认设置。

2．放置元器件

下面通过图 5-84 所示的实例来讲述创建元器件封装的具体过程。手动创建的一般步骤如下。

1）首先选择“TopLayer”层，然后选择“Place”→“Pad”命令，如图 5-88 所示。也可以单击绘图工具栏中相应的按钮。

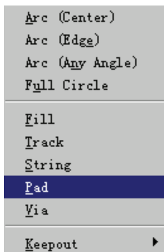


图 5-88 “Place”菜单

2）执行该命令后，光标变为十字，中间带有一个焊盘，如图 5-89 所示。随着光标的移动，焊盘跟着移动，移动到适当的位置后，单击将其定位。

在放置焊盘时，先按〈Tab〉键进入“Pad”对话框，设置焊盘的属性。本实例焊盘的属性设置如图 5-90 所示。方形焊盘和圆形焊盘可以在“Shape”下拉列表框中选定，其他选项卡参数取默认值。

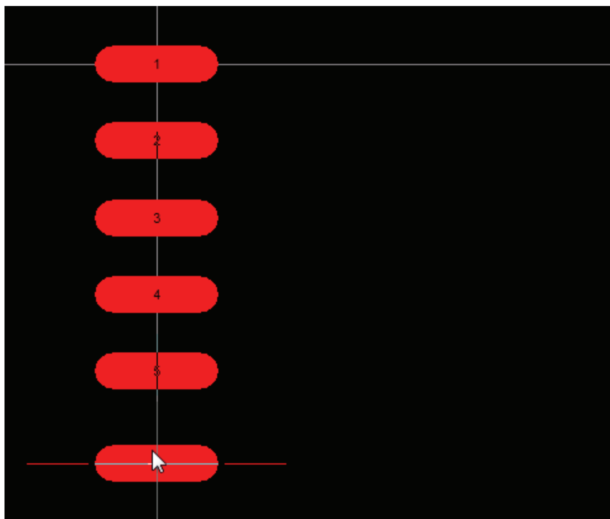


图 5-89 放置焊盘

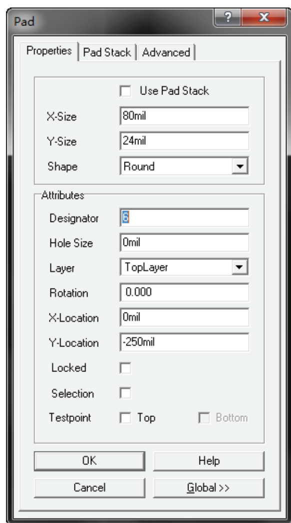


图 5-90 “Pad”对话框

3）按照同样的方法，再根据元器件引脚之间的实际间距将其设定为垂直距离为 50mil，水平距离为 270 mil，1 号焊盘放置于（0，0）点，并相应放置其他焊盘，如图 5-91 所示。

4）根据实际的需要，设置焊盘的实际参数。选择 Round（圆形焊盘），并设置焊盘的 X 方向大小为 80mil，Y 方向大小为 24mil。因为该封装为表贴式，因此焊盘的孔径设置为 0mil。焊盘的层选择为 TopLayer，旋转角度为 0，并分别设置引脚号。

如果用户想编辑焊盘，则可以将光标移动到焊盘上，双击即会弹出如图 5-90 所示的对话框，通过修改其中的选项设置焊盘的参数。

5）将工作层面切换到顶层丝印层，即 TopOverlay 层，这只需在“TopOverlay”标签上选择即可，然后选择“Place”→“Track”命令。

6）执行该命令后，光标变为十字，将光标移动到适当的位置后，单击确定元器件封装外形轮廓线的起点，随之绘制元器件的外形轮廓，左上角坐标为（60，25），右下角的坐标为（210，-325），如图 5-92 所示。上端开口的坐标分别为（110，25）和（160，25）。

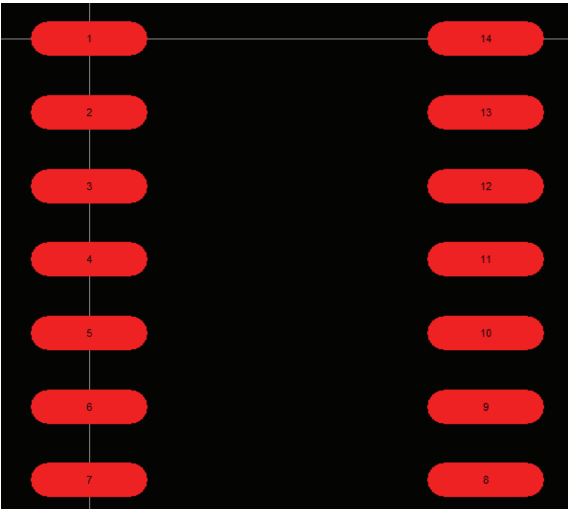


图 5-91　放置所有焊盘

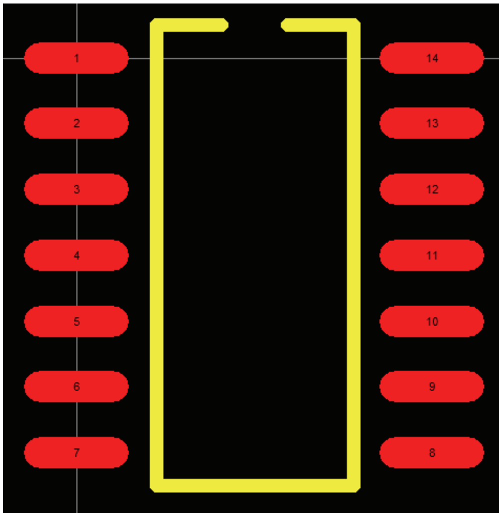


图 5-92　绘制外轮廓后的图形

7）接着选择“Place”→“Arc”命令，在外形轮廓线上绘制圆弧，圆弧的集合参数半径为 25mil，圆心位置为（135，25），起始角为 180°，终止角为 360°。执行命令后，光标变为十字，将光标移动到适当的位置后，先单击确定圆弧的中心，然后移动鼠标单击确定圆弧的半径，最后确定圆弧的起点和终点。绘制完的图形如图 5-93 所示。

8）绘制完成后，单击元器件封装管理器左边的“Rename”按钮，为新创建的元器件封装重新命名，这里命名为 SO-14，如图 5-94 所示。

9）重命名以及保存文件后，该元器件封装就创建成功，以后调用时可以作为一个块。

输入元器件封装的名称后，可以看到元器件封装管理器中的元器件名称也相应改变了。

10）最后选择“File”→“Save”命令，将新建的元器件库保存。

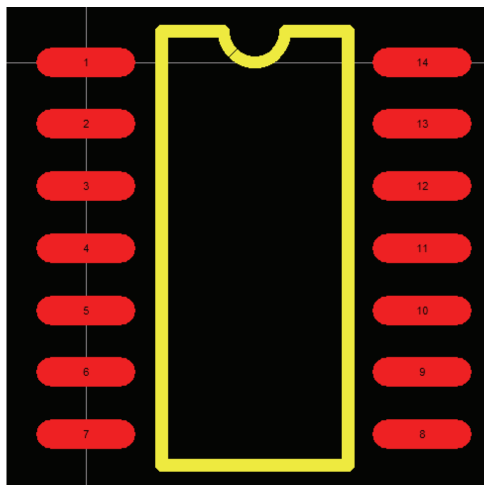


图 5-93　绘制元器件封装的外形

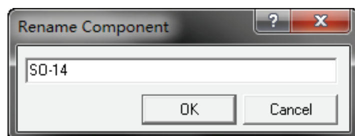


图 5-94　输入元器件封装的名称

3．设置元器件封装的参考点

为了标记一个 PCB 元器件，用作元器件封装，需要设定元器件的参考坐标，通常设定 Pin1（即元器件的引脚 1）为参考坐标。

设置元器件封装的参考点可以选择“Edit”→“Set Reference”中的相关命令，即 Pin1、Center 和 Location 三条命令。如果执行“Pin1”命令，则设置引脚 1 为元器件的参考点；如果执行的是“Center”，则表示将元器件的几何中心作为元器件的参考点；如果执行的是“Location”命令，则表示由用户选择一个位置作为元器件的参考点。

5.8.4　使用向导创建元器件封装

Protel 99 SE 提供的元器件向导允许用户预先定义设计规则，在这些设计规则定义结束后，元器件封装库编辑器会自动生成相应的新元器件封装。

下面以图 5-95 所示的实例，介绍利用向导创建元器件封装的基本步骤。

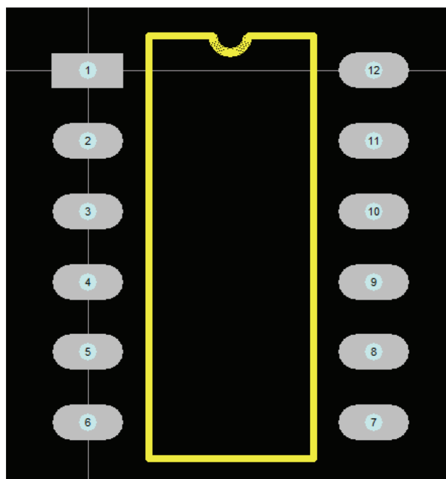


图 5-95　利用向导创建元器件封装的实例

1）启动并进入元器件封装编辑服务器。

2）首先选择“Tools”→“New Component”命令。

3）执行该命令后，系统会弹出如图 5-96 所示的界面。这就进入了元器件封装创建向导，接下去可以选择封装形式，并可以定义设计规则。

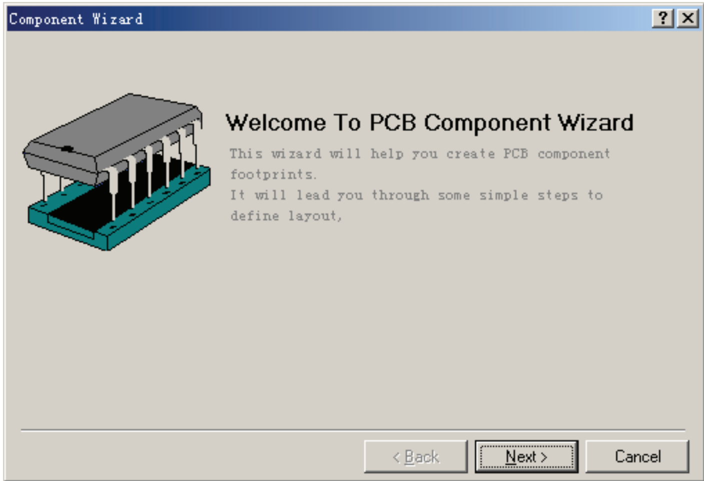


图 5-96　元器件封装向导界面

4）单击“Next”按钮，系统将弹出如图 5-97 所示的选择元器件封装样式对话框。

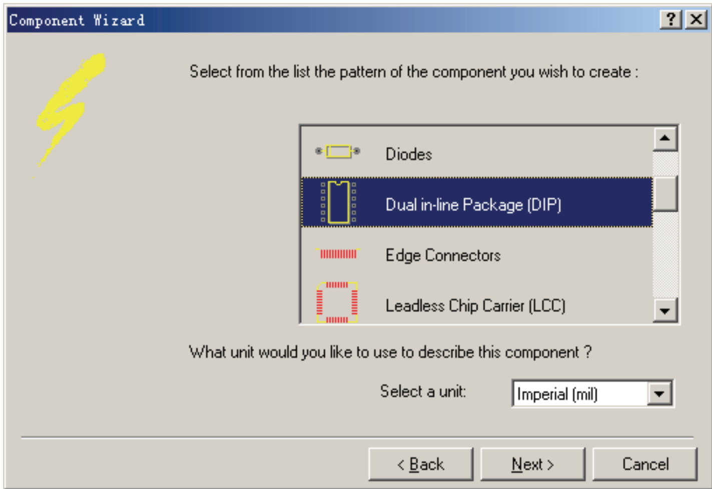


图 5-97　选择元器件封装样式对话框

在该对话框中，可以设置元器件的外形。Protel 99 SE 提供了 11 种元器件的外形供用户选择，包括 Ball Grid Arrays（BGA）（球栅阵列封装）、Capacitors（电容封装）、Diodes（二极管封装）、Dual in-line Package（DIP 双列直插封装）、Edge Connectors（边连接样式）、Leadless Chip Carrier（LCC）（无引线芯片载体封装）、Pin Grid Arrays（PGA）（引脚网格阵列封装）、Quad Packs（QUAD）（四边引出扁平封装 PQFP）、小尺寸封装 SOP(Small Outline

Package)、Resistors（电阻样式）等。

根据本例要求，选择[DIP]封装外形。另外在对话框的下面还可以选择元器件封装的度量单位，有 Metric（mm）（米制）和 Imperial（mil）(英制)。

5）单击图 5-97 中的“Next”按钮，系统将会弹出如图 5-98 所示的对话框。在该对话框中，可以设置焊盘的有关尺寸。在需要修改的地方单击，然后输入尺寸即可。

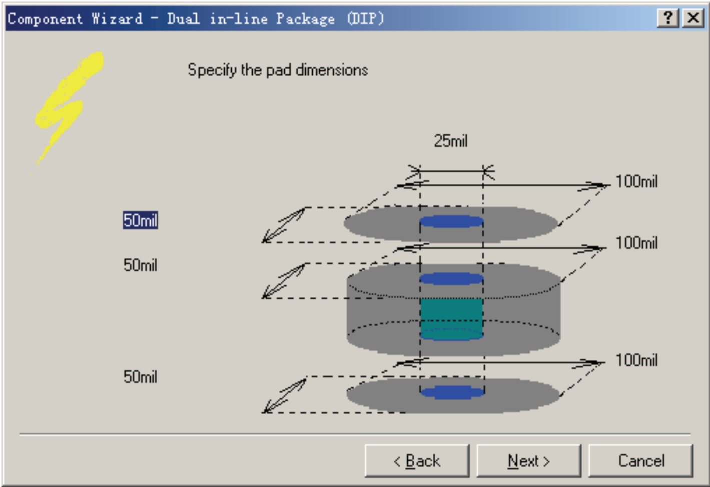


图 5-98　设置焊盘尺寸

6）单击图 5-98 中的“Next”按钮，系统将会弹出如图 5-99 所示的对话框。在该对话框中，可以设置引脚的水平间距、垂直间距和尺寸。设置方法同上一步。

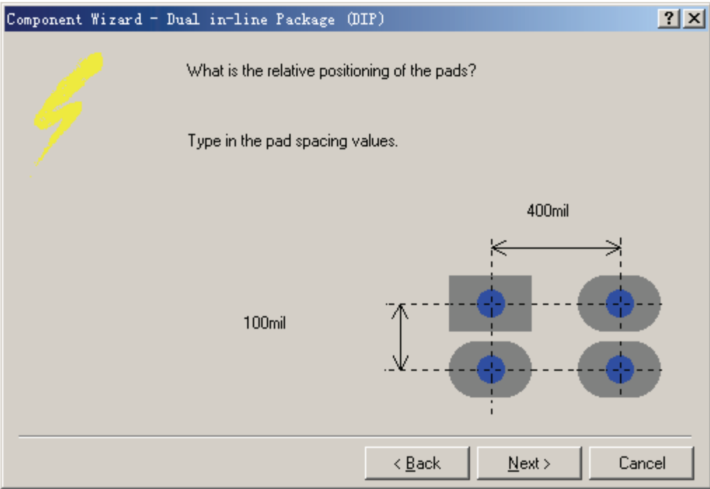


图 5-99　设置引脚的位置和尺寸

7）单击图 5-99 中的“Next”按钮，系统将会弹出如图 5-100 所示的对话框。在该对话框中，可以设置元器件的轮廓线宽。设置方法同上一步。

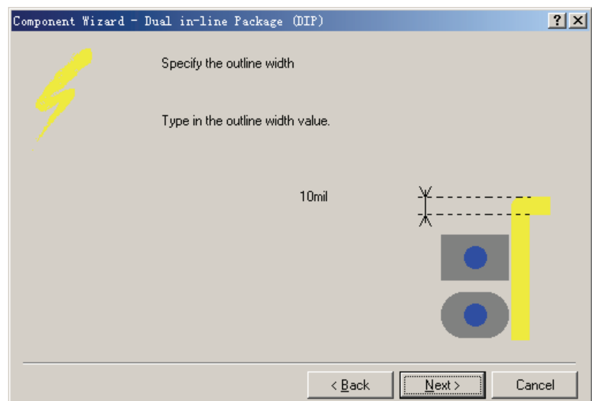


图 5-100　设置元器件的轮廓线宽

8）单击图 5-100 中的“Next”按钮，系统将会弹出如图 5-101 所示的对话框。在该对话框中，可以设置元器件引脚数量。只需在对话框中的指定位置输入元器件引脚数量即可。

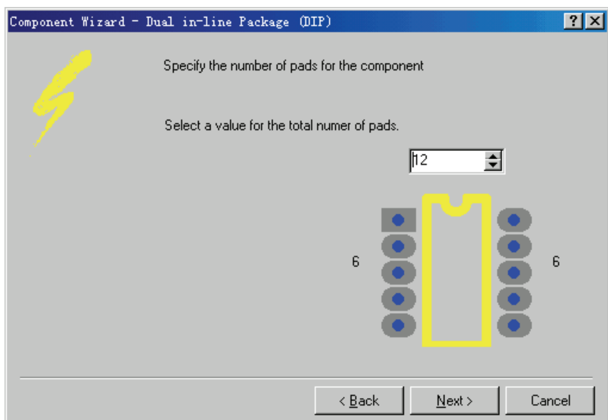


图 5-101　设置元器件引脚数量

9）单击“Next”按钮，系统将会弹出如图 5-102 所示的设置元器件封装名称的对话框。在该对话框中，可以设置元器件的名称，在此设置为 JDIP12。

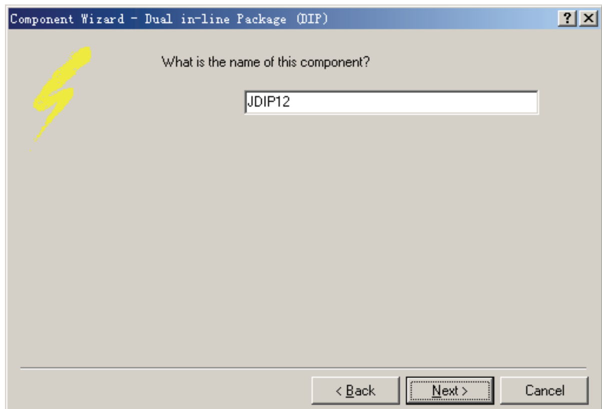


图 5-102　设置元器件封装的名称

10）此时再单击“Next”按钮，系统将会弹出如图 5-103 所示的完成对话框。

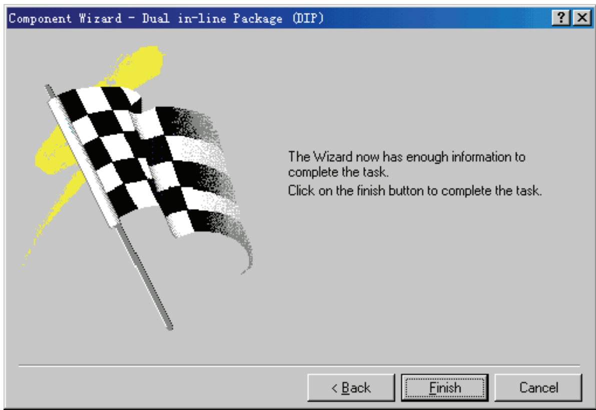


图 5-103　完成对话框

单击图 5-103 中的“Finish”按钮，即可完成对新元器件封装设计规则的定义，同时程序按设计规则生成了新元器件封装。完成后的元器件封装如图 5-96 所示。

使用向导创建元器件封装结束后，系统将会自动打开生成的新元器件封装，以供用户进一步修改，其操作与设计 PCB 的过程类似。

5.8.5　元器件封装管理

当创建了新的元器件封装后，可以使用元器件封装管理器进行管理，具体包括元器件封装的浏览、添加、删除等操作，下面进行具体讲解。

1．浏览元器件封装

当用户创建元器件封装时，可以单击“Browse PCBLib”标签进入元器件封装管理器，如图 5-104 所示。

在 PCB 管理器中，Mask 框（元器件过滤框）用于过滤当前 PCB 元器件封装库中的元器件，满足过滤框中条件的所有元器件将会显示在元器件列表框中。例如，在“Mask”文本框中输入 J*，则在元器件列表框中将会显示所有以 J 开头的元器件封装。

当用户在元器件封装列表框中选中一个元器件封装时，该元器件封装的引脚将会显示在元器件引脚列表框中，如图 5-104 所示。

在该对话框中，用户可以单击按钮 < 、 << 、 >> 和 > 选择元器件列表框中的元器件。

另外用户也可以选择“Tools”→“Next Component”“Tools”→“Prev Component”“Tools”→“First Component”和“Tools”→“Last Component”命令来选择元器件列表框中的元器件。



图 5-104　元器件封装管理器

2．添加元器件封装

当新建一个 PCB 元器件封装文档时，系统会自动建立一个名称为 PCBCOMPONENT_1 的空文件。添加新元器件封装的操作步骤如下。

1）首先选择“Tools”→“New Component”命令，或单击图 5-104 所示的“Add”按钮，系统将弹出如图 5-96 所示的对话框。

2）此时如果单击“Next”按钮，将会按照向导进行创建新元器件封装（参考 5.8.4 节）。如果单击“Cancel”按钮，系统将会生成一个 PCBCOMPONENT_1 空文件。

然后可以对该元器件封装进行重命名，并可进行绘图操作，生成一个元器件封装。

3．元器件封装重命名

当创建了一个元器件后，还可以对该元器件进行重命名，具体操作如下。

1）首先在元器件列表框中选中一个元器件封装，然后单击“Rename”按钮，系统将会弹出如图 5-105 所示的“Rename Component”对话框。

2）在对话框中可以输入元器件的新名称，然后单击“OK”按钮即完成重命名操作。

4．删除元器件封装

如果用户想从元器件库中删除一个元器件封装，可以先选中需要删除的元器件封装，然后单击“Remove”按钮，系统将会弹出如图 5-106 所示的“Confirm”对话框，如果单击“Yes”按钮将会执行删除操作，如果单击“No”按钮则取消删除操作。

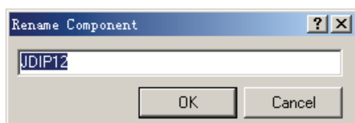


图 5-105 “Rename Component”对话框

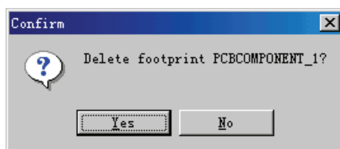


图 5-106 “Comfirm”对话框

5．放置元器件封装

通过元器件封装浏览管理器，可以放置元器件封装。先选中需要放置的元器件封装，然后单击“Place”按钮，系统将会切换到当前打开的 PCB 设计管理器中，用户可以将该元器件封装放置在适当位置。

6．编辑元器件封装引脚焊盘

还可以使用 PCBLIB 元器件封装浏览管理器编辑封装引脚焊盘的属性，具体操作过程如下。

1）首先在元器件列表框中选中元器件封装，然后在引脚列表框选中需要编辑的焊盘。

2）双击所选中的对象，或单击“Edit Pad”按钮，系统将弹出“Pad”对话框，如图 5-107 所示，在该对话框中可以实现焊盘属性的编辑，也可以直接双击焊盘进入“Pad”对话框。

如果想快速定位到某个元器件引脚焊盘，可以单击“Jump”按钮，系统将会高亮显示并放大所选焊盘。

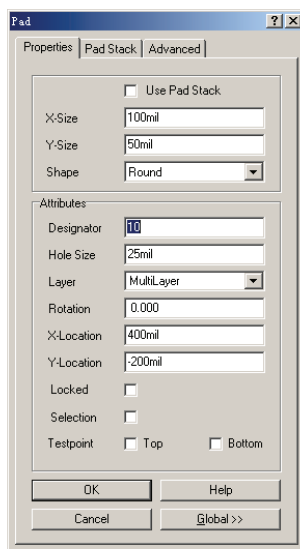


图 5-107 “Pad”对话框

7．设置信号层的颜色

在“Current Layer”选项组中，可以修改或设置元器件封装的各层的颜色，具体操作步骤如下。

1）首先在“Current Layer”下拉列表框中选中需要修改或设置颜色的层。

2）然后双击右边的颜色框，此时系统将会弹出颜色设置对话框，通过该对话框可以设置元器件封装的各层颜色。

注意：如果需要自己制作新的元器件封装，一定要事先仔细阅读元器件的产品信息，了解该元器件的尺寸大小、封装类型，然后才进行元器件封装的绘制和定义。当绘制好了一个自定义元器件封装后，还应该使用打印机按 1:1 的比例打印出来，与产品信息中元器件实际尺寸进行比较，如果正确则可以使用。

习题

1．简述一般的布线流程。

2．简述焊盘与过孔的区别、助焊膜和阻焊膜的区别。

3．简述有哪几种常用的元器件封装方式。

4．简述 PCB 板设计的基本原则。

5．简述 PCB 板各层的意义。

6．制作如图 5-108 所示的元器件封装，该封装是一个标准的小尺寸封装（SOP），共 14 个引脚，尺寸单位为英制 in（括号中的尺寸为公制：mm）。

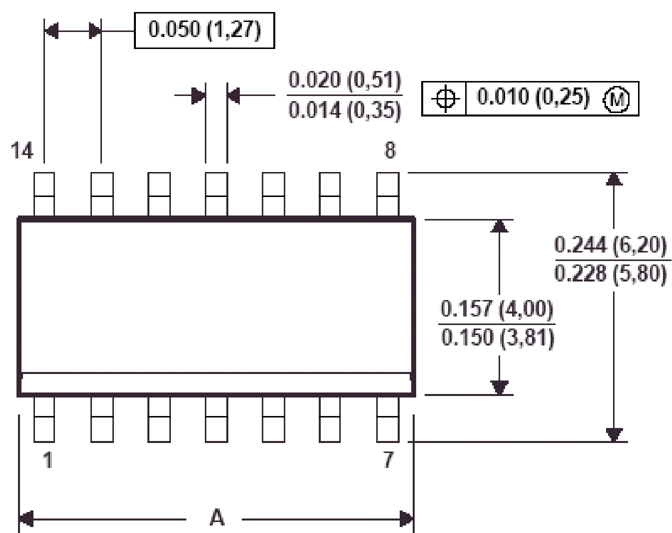


图 5-108　小尺寸封装实例

第 6 章　制作印制电路板

本章将结合实例讲述如何使用 Protel 99 SE 制作 PCB（印制电路板），以及生成光绘、NC 钻孔等制造文件。通过本章的学习，可以完全掌握如何制作印制电路板。

6.1　PCB 工作层

在进行 PCB 设计时，首先需要设置 PCB 的工作层，即所设计的电路和布线需要布在多少层的 PCB 上，PCB 各层应该如何进行配置，以满足电路设计的需要。下面将详细讲述 Protel 的 PCB 工作层的设置。

6.1.1　层的管理

Protel 99 SE 可设置 32 个信号层，16 个内层电源/接地层，16 个机械层，在层堆栈管理器用户可定义层的结构，可以看到层堆栈的立体效果。对电路板工作层的管理可以选择“Design”→“Layer Stack Manager”命令后，系统将弹出如图 6-1 所示的“Layer Stack Manager”对话框。

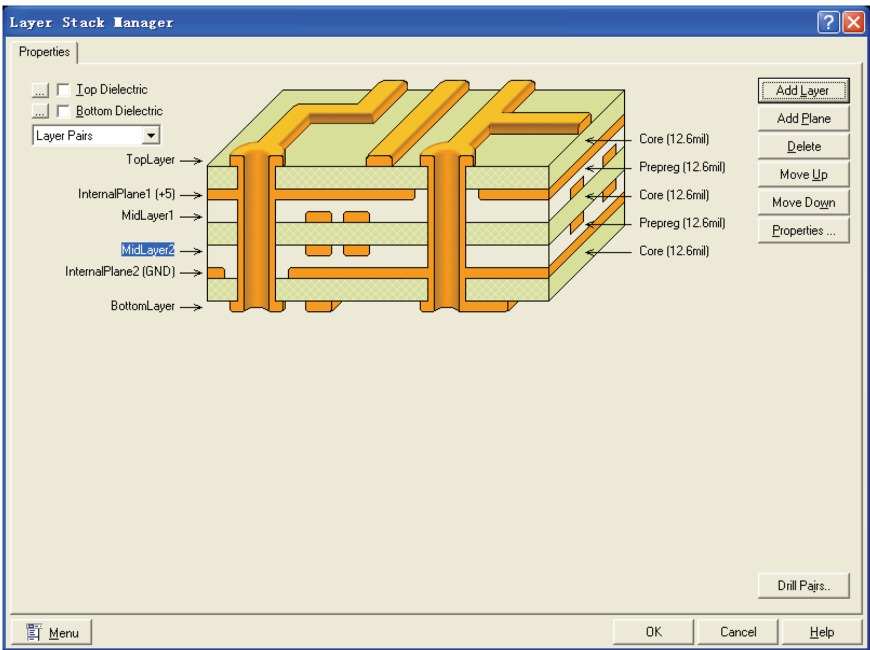


图 6-1　“Layer Stack Manager”对话框

● 单击“Add Layer”按钮可以添加信号层。

● 单击“Add Plane”按钮可添加内层电源/接地层，不过添加信号层前，应该首先单击信号层添加位置处，然后再设置。
● 如果选中“Top Dielectric”复选框，则在顶层添加绝缘层。
● 如果选中“Bottom Dielectric”复选框，则在底层添加绝缘层。
● 如果需要设置中心层的厚度，则可以在“Core”处编辑设定厚度。
● 如果想重新排列中间的信号层，可以单击“Move Up”和“Move Down”按钮来操作。如果需要设置某一层的厚度，则可以选中该层，然后单击“Properties”按钮，系统将弹出如图 6-2 所示的“Edit Layer（层设置）”对话框设置信号层的厚度，还可以设置层名。

系统还提供了一些多层板实例样板给用户选择使用，要使用该功能设置多层板，可以在 PCB 层堆栈管理器（Layer Stack Manager）中右击，弹出的快捷菜单，其中有“Example Layer Stacks”子菜单，如图 6-3 所示，通过它可以选择设置多层板。

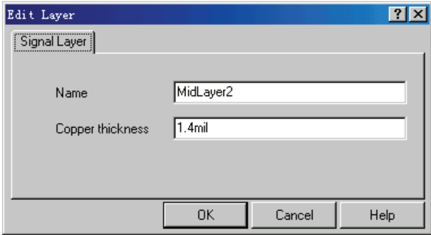


图 6-2 “Edit Layer”对话框

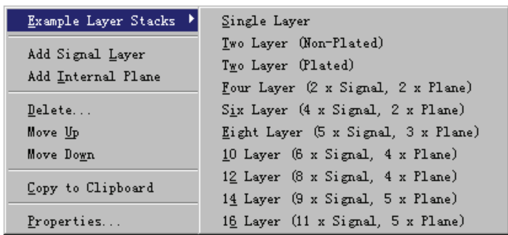


图 6-3 PCB 层堆栈管理器快捷菜单

6.1.2 层的类型

在设计印制电路板时，往往会碰到工作层选择的问题。Protel 99 SE 提供了多个工作层，用户可以在不同的工作层上进行不同的操作。当进行工作层设置时，应该选择 PCB 设计管理器的“Design”→“Options”命令，系统将弹出如图 6-4 所示的“Document Options”对话框，其中只显示用到的 Signal Layers（信号层）、Internal Planes（电源层/接地层）、Mechanical Layers（机械层）。

Protel 99 SE 提供的工作层在图 6-4 的“Layers”选项卡中设置，主要有以下几种。

1．信号层

Protel 99 SE 可以绘制多层板，如果当前板是多层板，则在 Signal Layers（信号层）可以全部显示出来，用户可以选择其中的层面，主要有 TopLayer、BottomLayer、MidLayer1、MidLayer2……，如果用户没有设置“MidLayer”层，则这些层不会显示在该对话框中。选择“Design”→“Layer Stack Manager”命令设置信号层，系统弹出如图 6-1 所示的对话框。此时用户可以设置多层板。

信号层主要用于放置与信号有关的电气元素，如 TopLayer 为顶层用于放置元器件面；BottomLayer 为底层用作焊锡面；MidLayer 为中间工作层，用于布置信号线。

2．内层电源/接地层

如果用户绘制的是多层板，则用户可以选择“Design”→“Layer Stack Manager”命令设置 Internal Plane（内层电源/接地层）。如果用户设置内层电源/接地层，则会显示如图 6-1

所示的层面，否则不会显示。其中 Internal Plane1 表示设置内层电源/接地第一层，Internal Plane2、Internal Plane3 依此类推。内层电源/接地层主要用于布置电源线及接地线。

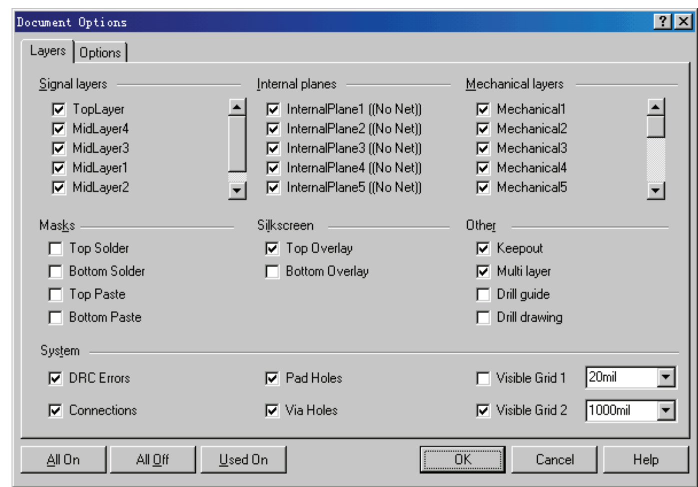


图 6-4 “Document Options”对话框

3．机械层

制作 PCB 时，系统默认的信号层为两层，所以 Mechanical Layers（机械层）默认只有一层，不过可以选择“Design”→“Mechanical Layers”命令为 PCB 设置更多的机械层，在 Protel 99 SE 中最多可以设置 16 个机械层，执行该命令后，系统将弹出如图 6-5 所示的“Setup Mechanical Layers（设置机械层）”对话框。

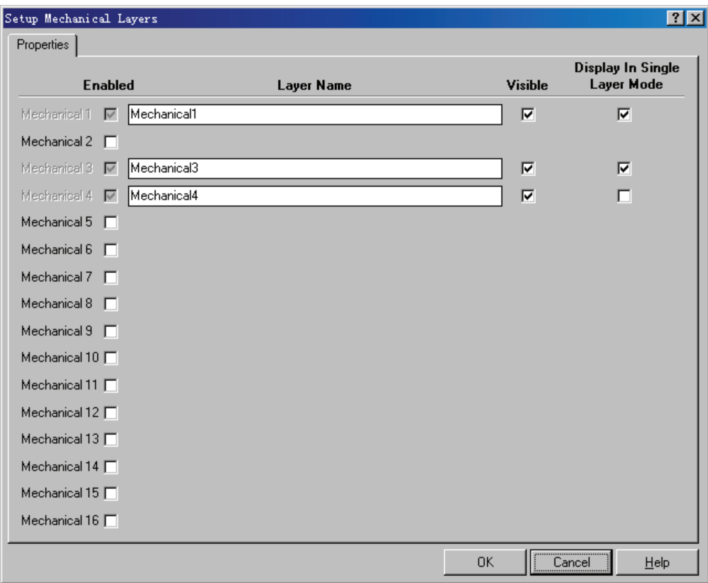


图 6-5 “Setup Mechanical Layers”对话框

通过该对话框可以选定使用哪一个机械层，“Visible”复选框用来确定可见方式，

“Display In Single Layer Mode”复选框用来授权是否可以在单层显示时放到各个层上。

4．助焊膜及阻焊膜

Protel 99 SE 提供的 Solder Mask & Paste Mask（助焊膜及阻焊膜）有：Top Solder Mask（顶层助焊膜）、Bottom Solder Mask（底层助焊膜）、Top Paste Mask（顶层阻焊膜）、Bottom Paste Mask（底层阻焊膜）。

5．丝印层

Silksreen（丝印层）主要用于在印制板的上下两表面印刷上所需要的标志图案和文字代号等，主要包括 Top Overlay（顶层丝印层）、Bottom Overlay（底层丝印层）两种。

6．其他工作层

Protel 99 SE 除了提供以上的工作层以外，还提供以下的 Others（其他工作层），共有 4 个复选框，各复选框的意义如下。

- “Keep Out”：设置是否禁止布线层，用于设定电气边界，此边界外不会布线。
- “Multi Layer”：设置是否显示复合层，如果不选择此项，过孔就无法显示出来。
- “Drill Guide”：选择绘制钻孔导引层。
- “Drill drawing”：选择绘制钻孔图层。

7．系统设置

可以在“System”选项组设置 PCB 设计系统参数，各选项如下。

- “Connect”：设置是否显示飞线，在绝大多数情况下都要显示飞线。
- “DRC Error”：设置是否显示自动布线检查错误信息。
- “Pad Hole”：设置是否显示焊盘通孔。
- “Via Hole”：设置是否显示过孔的通孔。
- “Visible Grid1”：设置是否显示第一组栅格。
- “Visible Grid2”：设置是否显示第二组栅格。

6.1.3 层的设置

在实际的设计过程中，几乎是不可能打开所有的工作层，这就需要用户设置工作层，将自己需要的工作层打开。

1．工作层设置步骤

1）选择“Design”→“Options”命令，系统将会出现如图 6-4 所示的“Document Options”对话框。

2）在该对话框中，单击“Layers”选项卡，即可进入工作层设置对话框。从对话框中可以发现每一个工作层前都有一个复选框。如果某工作层前的复选框中有符号“√”，则表明该工作层被打开，否则该工作层处于关闭状态。当单击“All On”按钮时，将打开所有的工作层；单击“All Off”按钮时，所有的工作层将处于关闭状态；单击“Used On”按钮时，则可以由用户设定工作层。

3）“Options”选项卡如图 6-6 所示。“Options”选项包括 Snap（栅格）、Electrical Grid（电气栅格）、Measurement Unit（计量单位）设置等。

2．设置参数

在图 6-6 的各个选项中可以进行相关参数设置。

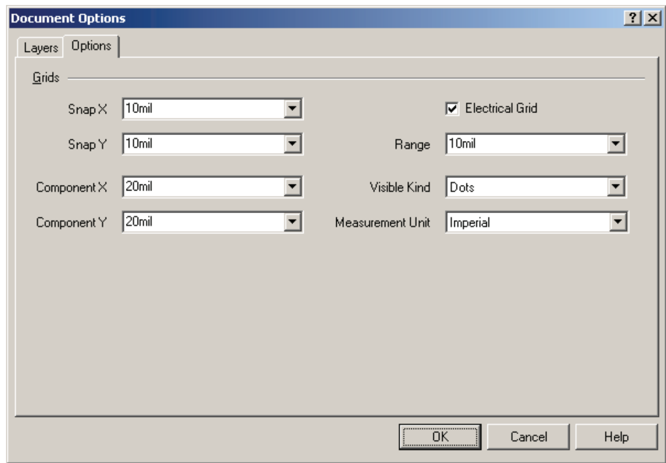


图 6-6 “Options”对话框

1）栅格的设置包括移动栅格的设置和可视栅格的设置。移动栅格主要用于控制工作空间的对象、移动栅格的间距。光标移动的间距由在“Snap”右边的文本框输入的尺寸确定，用户可以分别设置 X、Y 方向的栅格间距。

在设计 PCB 的工作界面中，可以使用〈Ctrl+G〉快捷键打开设置“Snap Grids”的对话框来操作。

2）Component X/Y：设置控制元器件移动的间距。

- Component X：设置 X 方向栅格间距。
- Component Y：设置 Y 方向栅格间距。
- Visible kind：设置显示栅格的类型。系统提供了两种栅格类型，即 Lines（线状）和 Dots（点状）。

3）电气栅格设置主要用于设置电气栅格的属性。它的含义与原理图中的电气栅格的相同。选中“Electrical Grid”复选按钮表示具有自动捕捉焊盘的功能。“Range”（范围）用于设置捕捉半径。在布置导线时，系统会以当前光标为中心，以 Grid 设置值为半径捕捉焊盘，一旦捕捉到焊盘，光标会自动加到该焊盘上。

4）“Measurement Units”（度量单位）用于设置系统度量单位，系统提供了两种度量单位，即 Imperial（英制）和 Metric（公制），系统默认为英制。

技巧：工作层的选择也可直接单击绘图区下方的标签，如图 6-7 所示。

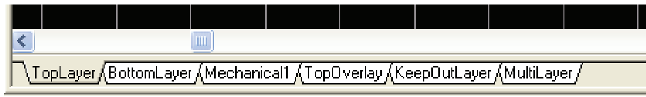


图 6-7 工作层选择标签

6.2 准备原理图和网络表

下面以图 6-8 所示的电路原理图为例讲述如何制作一块 PCB。要制作印制电路板，需要

有原理图和网络表，这是制作印制电路板的前提。

执行网络表生成命令“Design”→“Create Netlist”，系统将生成一个对应于该电路原理图的网络表，该电路原理图生成的网络表如图 6-9 所示。

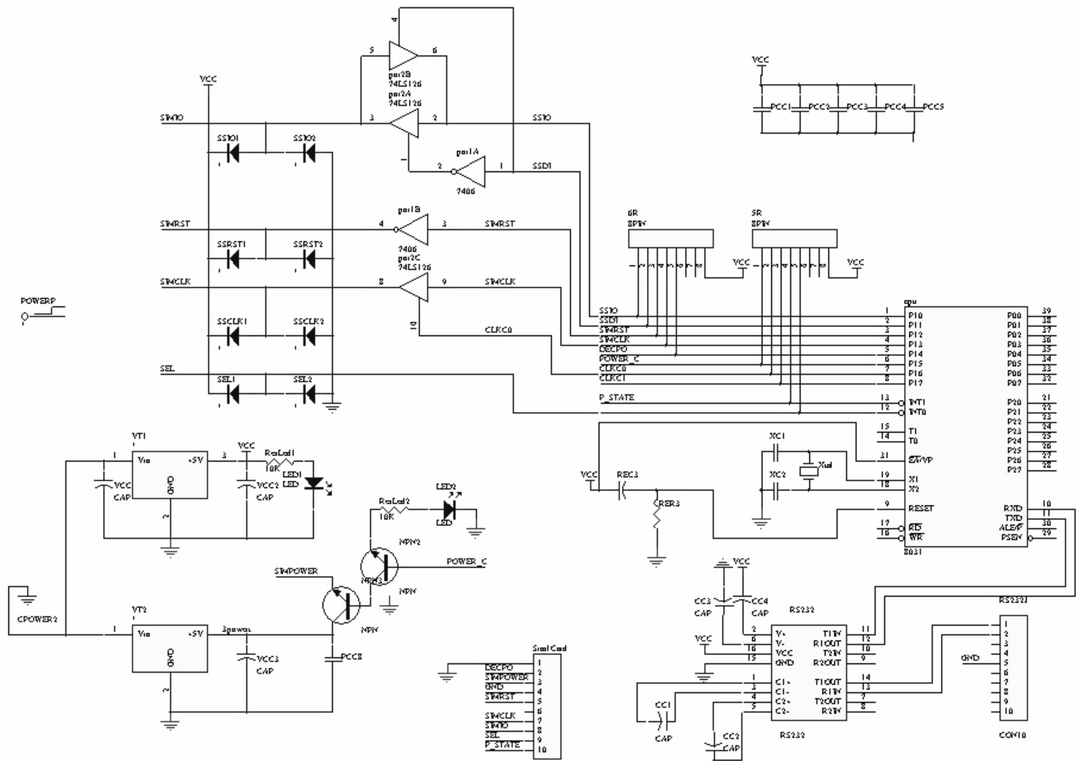


图 6-8　电路原理图

该网络表文件名为 8031.NET，将要在后面生成 PCB 时使用。

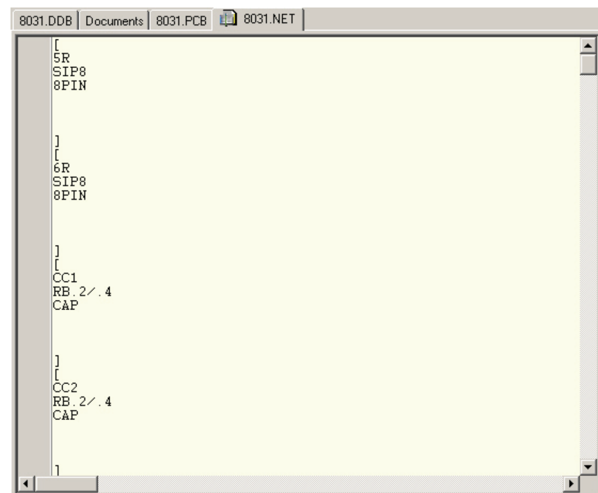


图 6-9　生成的电路原理图网络表

6.3　规划 PCB 和电气定义

对于要设计的电子产品，需要设计人员首先确定其 PCB 的尺寸。因此首要的工作就是 PCB 的规划，也就是说 PCB 板边的确定，并且确定 PCB 的电气边界。

在执行 PCB 布局处理前，必须创建一个 PCB 的电气定义。电气定义涉及一个元器件的生成和 PCB 的跟踪路径轮廓，PCB 的布局将在这个轮廓中进行，规划 PCB 的布局有两种方法：一是手动设计规划 PCB 和电气定义，另一种方法是利用 Protel 的 Wizard。

6.3.1　手动规划 PCB

元器件布置和路径安排的外层限制一般由 Keep Out Layer 中放置的轨迹线或圆弧所确定，这也就确定了 PCB 的电气轮廓。一般的这个外层轮廓边界就是与 PCB 的物理边界相同，设置这个 PCB 边界时，必须确保轨迹线和元器件不会距离边界太近，该轮廓边界由设计规则检查器（Design Rule Checker）、自动布局器（Autoplacer）和自动布线器（Autorouter）所用。

PCB 规划并定义电气边界的一般步骤如下。

1）单击绘图区下方的“KeepOutLayer”标签，如图 6-10 所示，即可将当前的工作层设置为 KeepOutLayer。该层为禁止布线层，一般用于设置 PCB 的板边界，以将元器件限制在这个范围之内。

2）选择“Place”→“Keepout”→“Track”命令，或单击“Placement Tools”工具栏中的按钮。

3）执行该命令后，光标会变成十字。将光标移动到适当的位置，单击即可确定第一条板边的起点。然后拖动鼠标，将光标移动到合适位置，单击即可确定第一条板边的终点。用户在该命令状态下，按〈Tab〉键，可进入“Line Constraints”对话框，如图 6-11 所示，此时可以设置板边的线宽和层面。

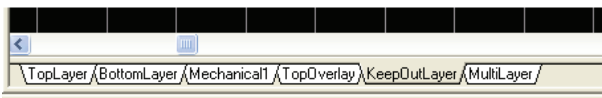


图 6-10　当前的工作层设置为 KeepOutLayer

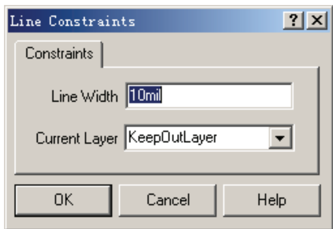


图 6-11　“Line Constraints”对话框

如果用户已经绘制了封闭的 PCB 限制区域，则双击区域的板边，系统将会弹出如图 6-12 所示的“Track”对话框，在该对话框中可以很精确地进行定位，并且可以设置工作层和线宽。

4）用同样的方法绘制其他 3 条板边，并对各边进行精确编辑，使之首尾相连。绘制完的 PCB 电气边界如图 6-13 所示，为紫红色的矩形框。

5）右击退出该命令状态。

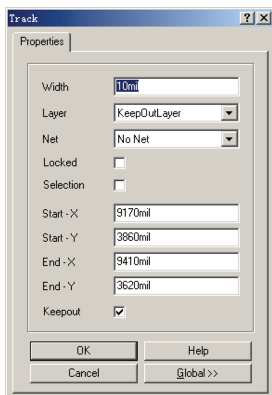


图 6-12 “Track”对话框

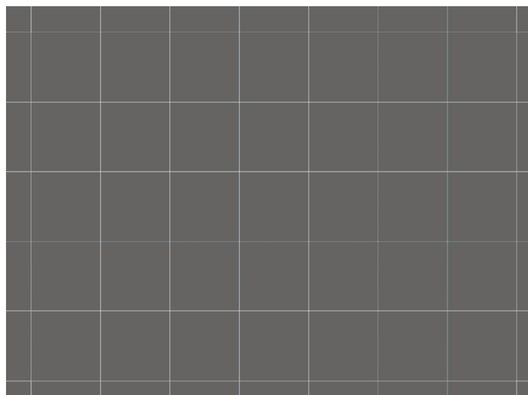


图 6-13 设置完 PCB 的板边

6.3.2 使用向导生成 PCB

另一种设计规划 PCB 的方法是利用 Protel 的 Wizard，具体操作过程如下。

1）首先选择“File”→“New”命令，在弹出的对话框中选择“Wizard”选项卡，如图 6-14 所示。

2）然后选择“Printed Circuit Board Wizard”图标，单击“OK”按钮，系统将弹出如图 6-15 所示的对话框。

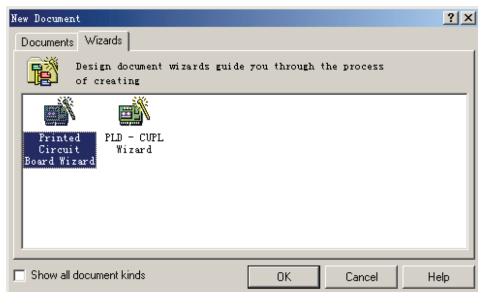


图 6-14 “Wizard”选项卡

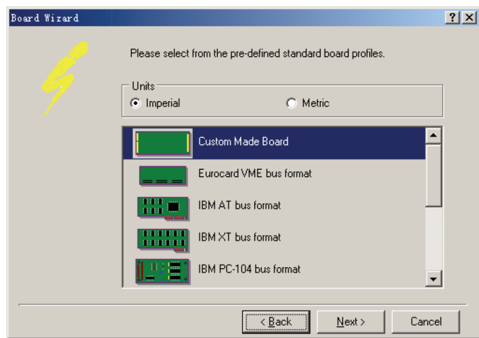


图 6-15 生成 PCB 向导

3）然后单击“Next”按钮，就可以开始设置 PCB 的相关参数，此时系统弹出如图 6-16 所示的选择预定义标准板对话框。在该对话框的“Units”选项组中可以选择 PCB 的单位，Imperial 为英制（Mil），Metric 为公制（mm），然后可以在板卡的类型选择下拉列表中选择板卡的类型。如果选择了“Custom Made Board”，则需要自己定义板卡的尺寸、边界和图形标志等参数，而如果选择其他选项则直接采用系统已经定义的参数。

4）如果选择了“Custom Made Board”，则单击“Next”按钮后，系统将弹出如图 6-17 所示的对话框，在该对话框中可以设定板卡的相关属性，具体如下。

- Width：设定板卡的宽度。
- Height：设定板卡的高度。
- Rectangular：设定板卡为矩形（选择该项，就可以设定前面的宽和高）。
- Circular：设定板卡为圆形（选择该项，则需要设定的几何参数为 Radius，即半径）。



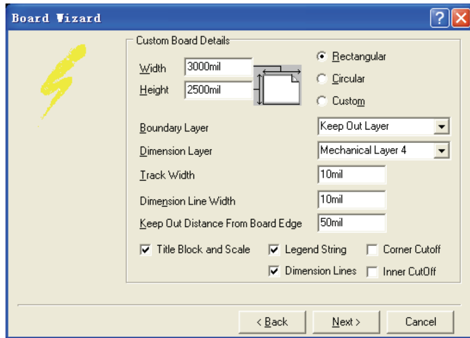


图 6-16　选择预定义标准板对话框

图 6-17　自定义板卡的参数设置

- Custom：用户自定义板卡形状。
- Boundary Layer：设定板卡边界所在的层，一般为 Keep Out Layer。
- Dimension Layer：设定板卡的尺寸所在的层，一般选择机械层（Mechanical Layer）。
- Track Width：设定导线宽度。
- Dimension Line Width：设定尺寸线宽。
- Title Block and Scale：设定是否生成标题块和比例。
- Legend String：是否生成图例和字符。
- Dimension Lines：是否生成尺寸线。
- Corner Cutoff：是否角位置开口。
- Inner Cutoff：是否内部开一个口。

然后系统将弹出几个设置板卡几何参数的对话框，设置完毕后，系统将弹出如图 6-18 所示的对话框，此时可以设置板卡的一些相关的产品信息。

如果第 3）步选择的是标准板，则单击“Next”按钮后系统会弹出一个选择板卡类型的对话框。然后单击“Next”按钮也弹出如图 6-18 所示的对话框。

5）单击“Next”按钮后，系统弹出如图 6-19 所示的对话框，此时可以设置信号层的数量和类型，同时还可以选择内部电源层，这里只提供了 2 和 4 层内部电源层的设置，如果需要增加内部电源层，可以进入 PCB 设计管理器后，使用层管理器来添加内部电源层。



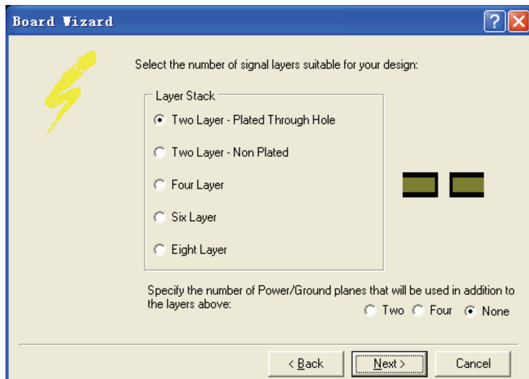


图 6-18　板卡产品信息设置对话框

图 6-19　设置信号层的数量和类型

6）然后单击“Next”按钮，系统将弹出如图 6–20 所示的对话框，此时可以设置过孔类型，是设置为通孔（Thruhole Vias only）、还是盲孔或埋孔（Blind and Buried Vias only）。

7）单击“Next”按钮后，系统弹出如图 6–21 所示的对话框，此时可以设置将要使用的布线技术，选择放置表贴元器件多还是插孔式元器件多，元器件是否放置在板的两面。

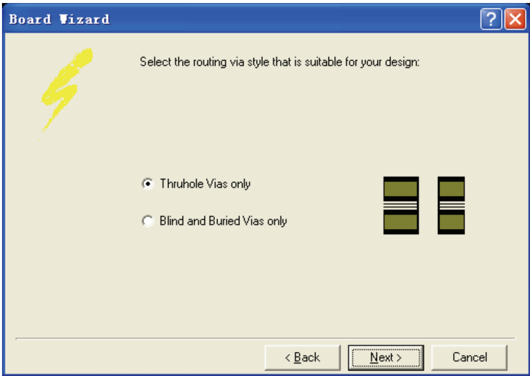


图 6–20　设置过孔类型

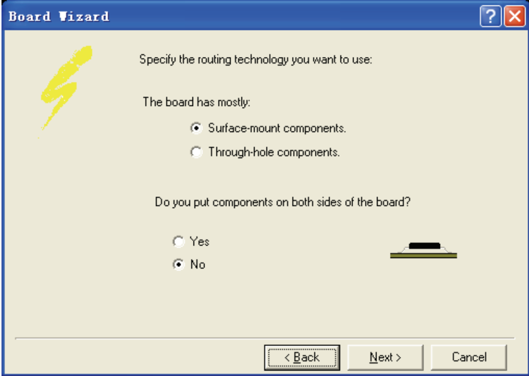


图 6–21　设置使用的布线技术

8）单击“Next”按钮，系统将弹出如图 6–22 所示的对话框，此时可以设置最小的导线尺寸、过孔尺寸和导线间的距离。

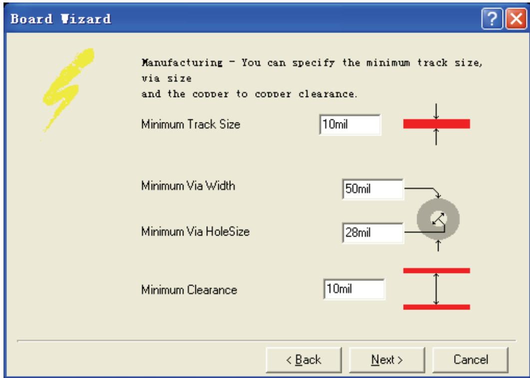


图 6–22　设置最小的尺寸限制

- Minimum Track Size：设置最小的导线尺寸。
- Minimum Via Width：设置最小的过孔宽度。
- Minimum Via HoleSize：设置过孔的孔尺寸。
- Minimum Clearance：设置最小的线间距。

9）单击“Next”按钮，最后弹出完成对话框，此时单击“Finish”按钮完成设计印制电路板的过程，如图 6–23 所示，该印制电路板为已经规划好的板，可以直接在上面放置网络和元器件。

技巧：对于初学者来说，建议使用向导来规划 PCB，这样 Protel 会以上面的各步骤指导读者完成 PCB 的规划。

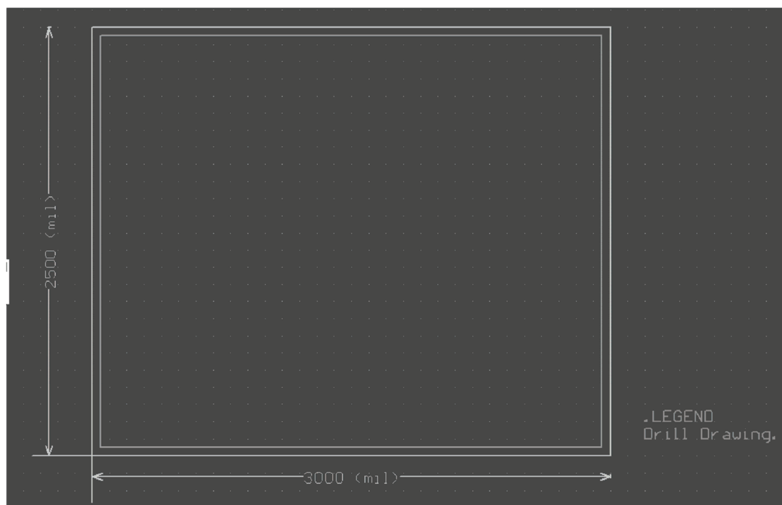


图 6-23　新生成的 PCB

6.4　网络表与元器件封装的加载

PCB 规划好后，接下来的任务就是装入网络表和元器件封装。在装入网络表和元器件封装之前，必须装入所需的元器件封装库。如果没有装入元器件封装库，在装入网络表及元器件的过程中，程序将会提示找不到元器件封装，从而导致装入过程失败。

6.4.1　加载元器件封装库

根据设计的需要，加载设计印制电路板需要使用的几个元器件封装库，其基本步骤如下。

1）首先选择“Design”→“Add”→“Remove Library”命令。

2）执行该命令后，系统会弹出“PCB Libraries”对话框，如图 6-24 所示。在该对话框中，找出原理图中的所有元器件所对应的元器件封装库。选中这些库，单击“Add”按钮，即可添加这些元器件库。在制作 PCB 时比较常用的元器件封装库有 Advpcb.ddb、DC to DC.ddb、General IC.ddb 等，另外 Protel 还提供了很多标准的连接器（Connector）封装，用户可以选择自己设计所需的元器件封装库。

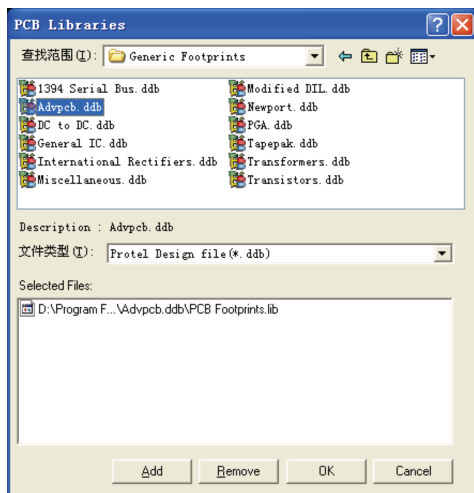


图 6-24　“PCB Libraries”对话框

3）添加完所有需要的元器件封装库，然后单击“OK”按钮完成该操作，程序即可加载所选中的元器件封装库。

注意：在 Windows 7 环境下，元器件封装库无法通过上述方式添加到当前工作项目中，

此时需要通过如下的方式进行操作。

1）用文本文档打开（c:\windows）下的 AdvPCB99SE 文件找到如下信息:

File0=D>MSACCESS:$RP>C:\Program Files1\Design Explorer 99 SE\Library\Pcb\Generic Footprints $RN>Advpcb.ddb$OP>$ON>PCB Footprints.lib$ID>−1$ATTR>0$E>PCBLIB$STF>

在该行的下面一行添加:

File1=D>MSACCESS:$RP>C:\Program Files1\Design Explorer 99 SE\Library\Pcb\Generic Footprints $RN>Advpcb.ddb$OP>$ON>IC 封装库.lib$ID>−1$ATTR>0$E>PCBLIB$STF>

File2=D>MSACCESS:$RP>C:\Program Files1\Design Explorer 99 SE\Library\Pcb\Generic Footprints $RN>Advpcb.ddb$OP>$ON>电阻封装库.lib$ID>−1$ATTR>0$E>PCBLIB$STF>

最后修改 File0=D>MSACCES 上面的 Count 属性，如上面有 3 个，就把它的值改为 3，Count=3。

2）另外也可以在 Protel 的 PCB 设计环境下，直接打开所需要添加的封装库，然后将需要加载的封装库文件中的所有库复制到已经添加的封装库中。

6.4.2 浏览元器件封装库

当加载元器件封装库后，可以对加载的元器件封装库进行浏览，查看是否有自己需要的元器件封装。Protel 99 SE 为用户提供了大量的 PCB 库元器件，所以进行 PCB 设计制作时，也常需要浏览元器件库，选择自己需要的元器件封装，浏览元器件封装库的具体操作方法如下。

1）首先选择“Design”→“Browse Components”命令，执行该命令后，系统会弹出“Browse Libraries”对话框，如图 6-25 所示。

2）在该对话框中可以查看元器件的类别和形状等。用户还可以单击“Edit”按钮对选中的元器件进行编辑。也可以单击“Place”按钮将选中的元器件放置到电路板上。

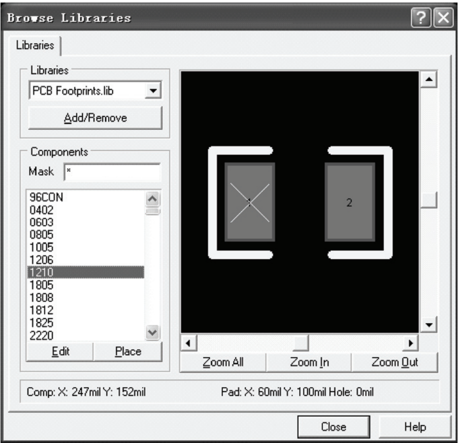


图 6-25 “Browse Libraries”对话框

6.4.3 网络表与元器件封装的加载

加载元器件封装库以后，就可以加载 PCB 的网络表与元器件封装了。网络表与元器件封装的加载过程实际上是将原理图设计的数据加载到印制电路板设计系统的过程。PCB 设计系统中数据的所有变化，都可以通过 Netlist Macro（网络宏）来完成。通过分析网络表文件和 PCB 系统内部的数据，可以自动生成网络宏。

如果是第一次加载网络表文件，则网络宏是为整个网络表文件生成的。如果不是首次装入网络表文件，而是在原有网络表的基础上进行的修改或添加，则网络宏仅是针对修改、添加的部分设计而言的。用户可以通过修改、添加或删除网络宏来更改原先的设计。

如果在原理图设计阶段已经产生了网络表，那么就可以按照下面的步骤将网络表与元器件封装加载。

1．网络表与元器件封装加载的步骤

1）打开已经创建的 PCB 文件，本实例的 PCB 文件如图 6–23 所示。

2）选择“Design”→“Load Nets”命令。

3）执行该命令后，系统会弹出如图 6–26 所示的“Load/Forward Annotate Netlist（加载网络表）”对话框。

4）在“Netlist File”文本框中，输入网络表文件名。

如果不知道网络表文件所在位置，可以单击对话框中的“Browse”按钮，则系统将弹出如图 6–27 所示的“Select”对话框，在该对话框中，可以选择网络表目标文件。

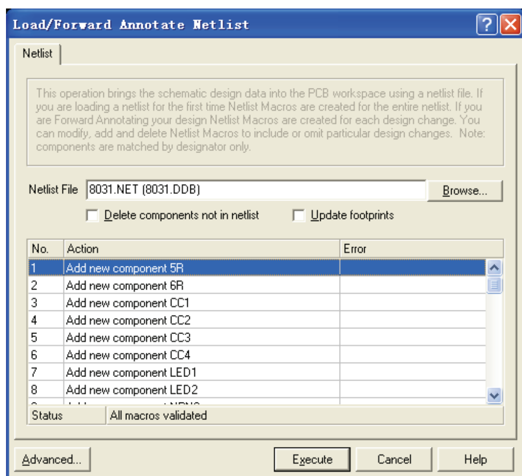


图 6–26 “Load/Forward Annotate Netlist”对话框

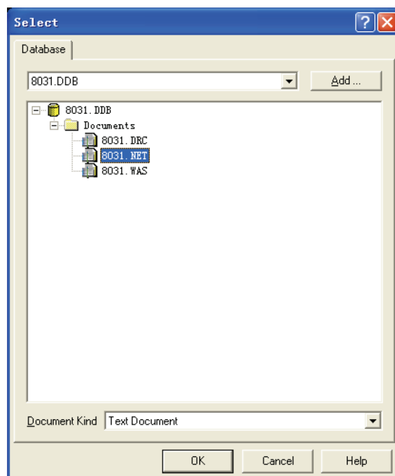


图 6–27 “Select”对话框

如果想查看网络表所生成的宏，可以双击图 6–26 所示的列表中的对象，系统将弹出如图 6–28 所示的“Netlist Macro”对话框，在该对话框中显示该宏的属性，用户还可以修改宏。

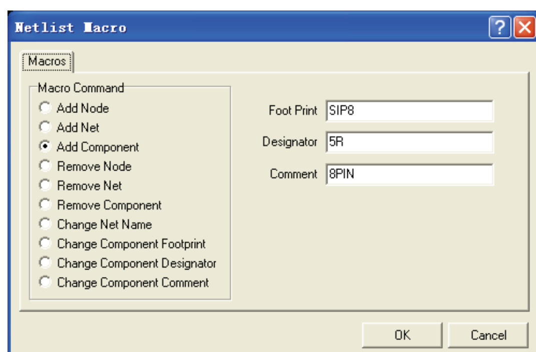


图 6–28 “Netlist Macro”对话框

如果单击图 6–26 中的“Advanced”按钮，则可以打开“网络表管理器”对话框，实现对网络表的管理和操作。这将在后续章节介绍。

注意：*每个元器件必须具有引脚的封装形式，对于电路原理图中从元器件库中装载的元*

器件，一般均具有封装形式，但是如果是用户自己创建的元器件库或从 Digital Tools 工具栏上选择装载的元器件，则应该设定其封装形式（即属性 Footprint 项），例如电阻引脚封装可设定为 AXIAL0.4。

如果没有设定封装形式，或者封装形式不匹配，则在装入网络表时，会在列表框中显示某些宏是错误的，这将不能正确加载该元器件。用户应该返回电路原理图，修改该元器件的属性，或电路连接，再重新生成网络表，然后切换到 PCB 文件中进行操作。

5）最后单击“Execute”按钮，即可实现装入网络表与元器件，结果如图 6-29 所示。

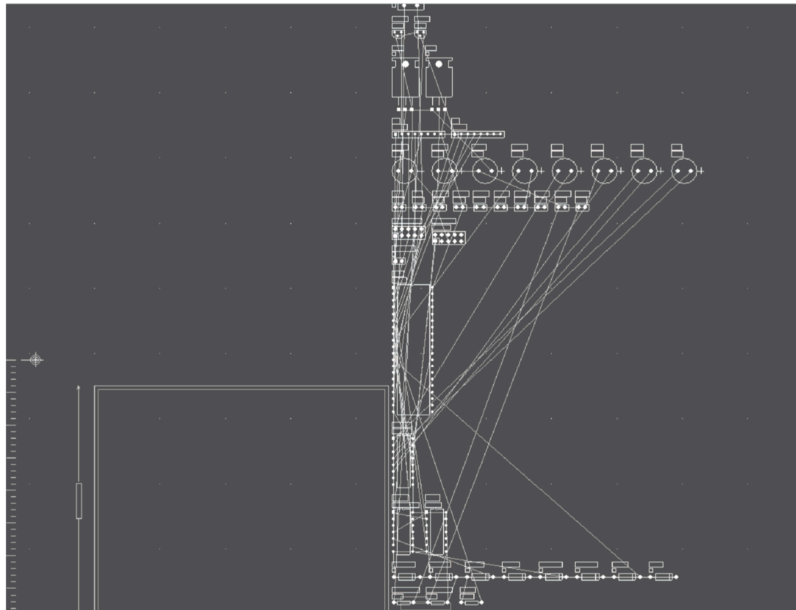


图 6-29　加载网络表后的 PCB

2．“加载网络表”对话框

1）“Netlist File”文本框下面有两个复选框，即“Delete Components not in netlist”和“Update footprints”。

- 如果选中“Delete Components not in netlist”复选框，则系统将删除没有连线的元器件。
- 如果选中“Update footprints”复选框，则允许用户遇到不同的元器件封装时，进行元器件封装的更新。

2）引入网络表后，文件名出现在“Netlist File”文本框中，并且引入的网络表以网络宏的形式出现在“Netlist Macros”栏中。网络宏其实就是将外部网络表转化为 PCB 内部网络表时需要执行的操作。“Netlist Macros”栏包括 3 列属性，即“No.”列、“Action”列和“Error”列。

- “No.”列：显示转换网络表的步骤编号。
- “Action”列：显示转换网络表时将要执行的操作内容。
- “Error”列：显示网络表中出现的错误。

3）“Netlist Macros”栏的下部还有一个网络表状态栏，用于显示网络表是否有错误。如果有错误的话，其中将显示错误的个数；如果没有错误的话，状态栏将显示“All macros validated”字样，警告信息不会在状态栏显示。

6.4.4　放置元器件封装

前面已经讲述了 PCB 制作的一些重要知识，在进行具体布局和布线之前，有时候需要在 PCB 中添加一些原理图中没有的元器件，比如有时候为了增加 PCB 的抗干扰性能，就需要添加一些电容和电感等元器件。因此往加载了网络表的 PCB 中添加元器件封装也是一个必要了解的操作。下面讲述一下如何向 PCB 放置元器件封装以及元器件封装属性操作。

1．放置元器件封装的操作步骤

当进行 PCB 布局时，需要在板上放置相应的元器件封装，然后再进行连线，才能生成 PCB，放置元器件封装的操作步骤如下。

1）首先单击绘图工具栏中的按钮，或者选择“Place”→“Component”命令。

2）执行此命令后，系统会弹出如图 6-30 所示的“Place Component”对话框。可以在该对话框中输入元器件的封装、标号、注释等参数。

- Footprint：用来输入封装，即装载相应封装。也可以单击“Browse”按钮，系统将弹出如图 6-31 所示的“Browse Libraries”对话框，可以通过该对话框选择所需要放置的封装。

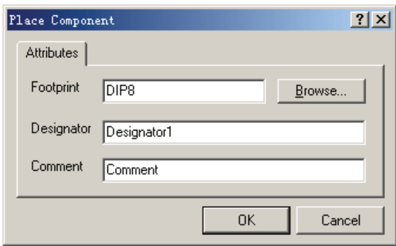


图 6-30　“Place Component”对话框

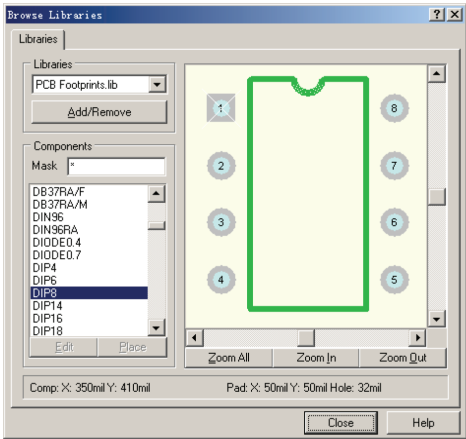


图 6-31　“Browse Libraries”对话框

- Designator：输入封装名称，系统默认为 Designator ××。
- Comment：输入封装的注释。

3）在放置封装前，即在命令状态下，可以按〈Tab〉键，进入“元器件封装属性”对话框，进行封装属性的设置。

4）根据实际需要，设置完参数后，即可把元器件放置到工作区中，如图 6-32 所示。

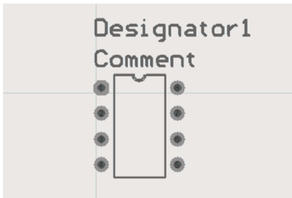


图 6-32　放置的元器件封装

2．设置元器件封装属性

设置元器件封装属性需要打开“Component”对话框。当在放置元器件封装时按〈Tab〉

键，或者双击在电路板上已经放置的元器件封装，或者选中封装，然后右击，从快捷菜单中选择“Properties”命令，均可以打开如图 6-33 所示的“Component”对话框。

图 6-33 所示的“Component”对话框中有 3 个选项卡，即“Properties”选项卡、“Designator”选项卡和“Comment”选项卡。

1）“Properties”选项卡

单击“Properties”标签即可进入“Properties”选项卡如图 6-33 所示。

- Designator：设定元器件封装的序号。
- Comment：设定元器件包装的名称或标注元器件封装。
- Footprint：设定元器件封装。
- Layer：设定元器件封装所在的层。
- Rotation：设定元器件封装旋转角度。
- X-Location：设定元器件封装 X 轴坐标。
- Y-Location：设定元器件封装 Y 轴坐标。
- Lock Prims：设定是否锁定元器件封装结构。
- Locked：设定是否锁定元器件封装的位置。
- Selection：设定元器件封装是否处于选择状态。

2）“Designator”选项卡

单击“Designator”标签，“Designstor”选项卡如图 6-34 所示。

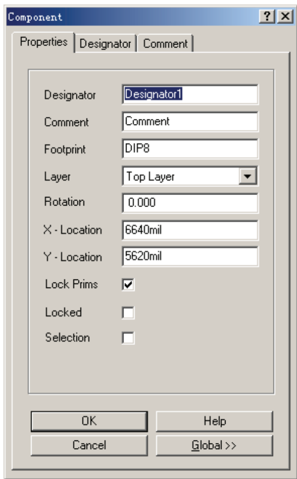


图 6-33 “Component”对话框

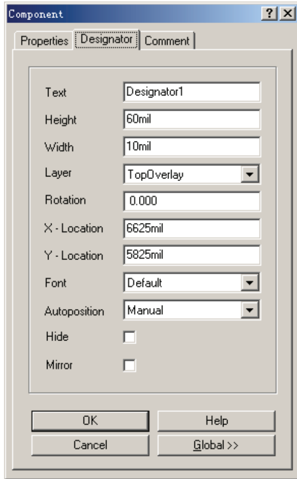


图 6-34 “Designator”选项卡

- Text：设定元器件封装的序号。
- Height：设定元器件封装序号文字的高度。
- Width：设定元器件封装序号文字的线宽。
- Font：设定元器件封装序号文字的字体。
- Layer：设定元器件封装序号文字所在的层。
- Rotation：设定元器件封装序号旋转角度。
- Hide：设定元器件封装序号是否隐藏。

● Mirror：设定元器件封装序号是否镜像。

3）“Comment”选项卡

“Comment”选项卡如图 6-35 所示，各选项的意义与“Designator”选项卡的意义一样。

用户还可以对文本和引脚进行编辑，当单独编辑它们时，只需双击文本或引脚即可进入相应的属性对话框中进行编辑调整。

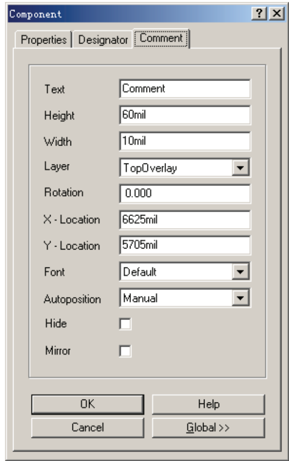


图 6-35 “Comment”选项卡

6.4.5 添加网络连接

当在 PCB 中装载了网络表后，一般还有些网络需要用户自行添加，比如与总线的连接、与电源的连接等。本节将详细讲述如何在 PCB 中添加网络连接，具体操作步骤如下。

1）首先在打开的 PCB 文件中（需要装载了网络表文件），选择“Design”→“Netlist Manager”命令，系统将弹出如图 6-36 所示的“Netlist Manager”对话框。

2）此时，可以在“Nets in Class”列表中选择需要连接的网络，例如 GND，然后双击该网络名或者单击下面的“Edit”按钮，系统将弹出图 6-37 所示的“Edit Net”对话框，此时可以选择添加连接该网络的元器件引脚，如 PCC1-1。

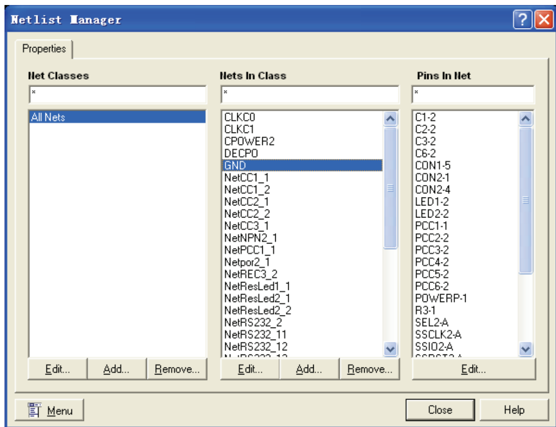


图 6-36 “Netlist Manager”对话框

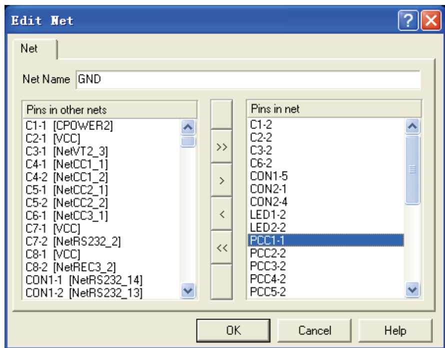


图 6-37 “Edit Net”对话框

单击“Nets in Class”列表下面的“Add”按钮，可以向 PCB 添加新的网络，系统弹出的对话框与图 6-37 一样。可以在“Net Name”文本框中输入新的网络名，并可以分别添加该网络的连接。

单击“Nets in Class”列表下面的“Remove”按钮，可以从 PCB 移去已有的网络。

技巧： 网络连接也可以直接在“Pad”对话框中修改或添加。如果新放置了一个焊盘，那么可以直接打开“Pad”对话框，如图 6-38 所示，进入“Advanced”选项卡，在“Net”下拉列表框中选择该焊盘的网络连接。

6.5 元器件的自动布局

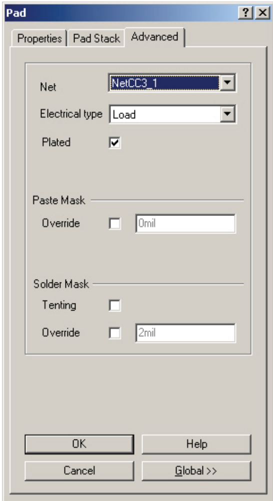


图 6-38 “Pad”对话框

装入网络表和元器件封装后，要把元器件封装放入工作区，这就需要对元器件封装进行布局，下面继续以 6.4 节的图 6-29 为例进行讲解。

Protel 99 SE 提供了强大的自动布局功能，用户只要定义好规则，Protel 99 SE 可以将重叠的元器件封装分离开来。

1．元器件自动布局的操作步骤

1）首先选择“Tools”→“Auto Placement”命令。

2）执行该命令后，会出现如图 6-38 所示的“Pad”对话框。可以在该对话框中设置有关的自动布局参数。在一般情况下，可以直接利用系统的默认值。

Protel 99 PCB 编辑器提供了两种自动布线方式，每种方式均使用不同的计算和优化元器件位置的方法，两种方法描述如下。

- “Cluster Placer”自动布局器。这种布局方式将元器件基于它们连通属性分为不同的元器件束，并且将这些元器件按照一定几何位置布局。这种布局方式适合于元器件数量（小于 100）较少的 PCB 制作。
- “Statistical Placer”（也称为 Global Placer）布局器使用一种统计算法来放置元器件，以使连接长度最优化。一般如果元器件数量超过 100，建议使用 Statistical Placer（统计布局器）。

“Cluster Placer”选项如图 6-39 所示，一般适合于元器件比较少的情况，这种情况下元器件被分为组来布局。

“Statistical Placer”适合于元器件较多的情况，它使用了统计算法，使元器件间用最短的导线来连接。“Statistical Placer”选项如图 6-40 所示，下面介绍各项的含义。

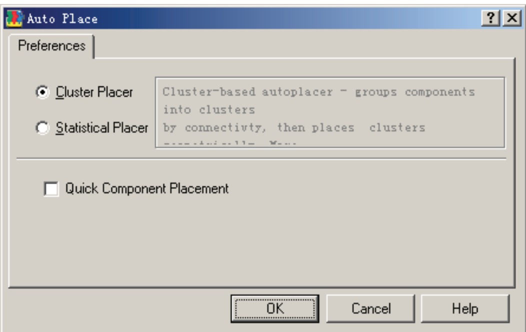


图 6-39 “Auto Place”对话框

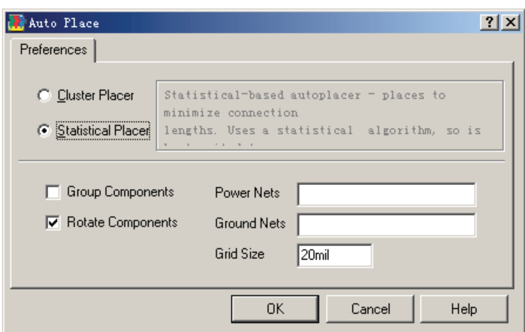


图 6-40 “Statistical Placer”布局选项

- Group Components：选中此复选框，则在当前网络中连接密切的元器件归为一组。在排列时，将该组的元器件作为整体而不是个体来考虑。
- Rotate Components：选中此复选框，则依据当前网络连接与排列的需要，使元器件重组转向。如果不选中，则元器件将按原始位置布置，不进行元器件的转向动作。

● Power Nets：定义电源网络名称。
● Ground Nets：定义接地网络名称。
● Grid Size：设置元器件自动布局时的栅格间距的大小。

3）选择“Statistical Placer”布局方式，然后单击“OK”按钮，系统出现如图 6-23 所示的画面，该图为元器件自动布局完成后的状态，系统自动生成另一个 PCB 文件，将当前结果保存在此文件中，本实例保存为 8031_example.pcb 文件，如图 6-41 所示。

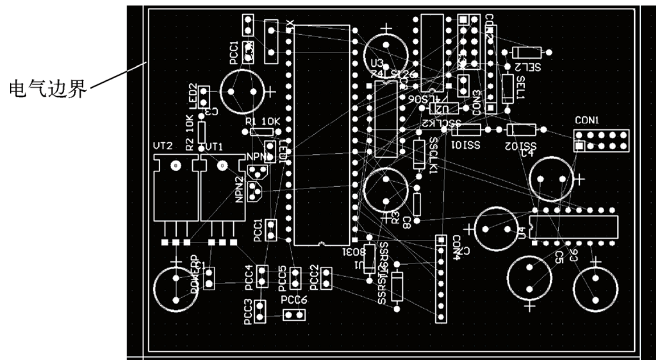


图 6-41　元器件自动布局状态

注意：在运行自动布局前，应确保已经定义了一个 PCB 的电气边界，并确保电气边界的属性选择为 Keep out（参考 6.3 节）。

在执行一个自动布局前，应该将当前原点设置为系统默认的绝对原点位置（可以选择“Edit”→“Origin”→“Reset”命令），因为自动布局使用绝对原点为参考点。

设计者执行自动布局前，最好参考 6.3 节的有关电气边界的定义。

6.6　手动编辑调整元器件的布局

程序对元器件的自动布局一般以寻找最短布线路径为目标，因此元器件的自动布局往往不太理想，需要用户手动调整。以图 6-41 为例，元器件封装虽然都已经放置到 PCB 的电气边界之内，但元器件的位置还不整齐，因此必须重新调整某些元器件的位置。在 PCB 的布线中，元器件的位置调整是影响 PCB 布线是否能够布通的关键步骤，也是 PCB 布线中最耗时间的操作。

进行位置调整，实际上就是对元器件进行排列、移动和旋转等操作，在调整元器件布局时需要考虑有利于 PCB 布线。下面讲述如何手动调整元器件的布局。

6.6.1　选取元器件

手动调整元器件的布局前，应该选中元器件，然后才能进行元器件的移动、旋转、翻转等编辑操作。选中元器件的最简单的方法是拖动鼠标，直接将元器件放在一个指针所包含的矩形框中。系统也提供了专门的选取对象和释放对象的命令，选取对象的菜单命令为“Edit”→“Select”。如果用户想释放元器件的选择，可以选择“Edit”→“Deselect”子菜单

中的命令来实现。

"Edit" → "Select"子菜单有如下多项命令。

- Inside Area：将鼠标拖动的矩形区域中的所有元器件选中。
- Outside Area：将鼠标拖动的矩形区域外的所有元器件选中。
- All：将所有元器件选中。
- Net：将组成某网络的元器件选中。
- Connected Copper：通过敷铜的对象来选定相应网络中的对象。当执行该命令后，如果选中某条走线或焊盘，则该走线或者焊盘所在的网络对象上的所有元器件均被选中。
- Physical Connection：表示通过物理连接来选中对象。
- All on Layer：选定当前工作层上的所有对象。
- Free Objects：选中所有自由对象，即不与电路相连的任何对象。
- All Locked：选中所有锁定的对象。
- Off Grid Pads：选中图中的所有焊盘。
- Hole Size：选中内孔直径满足指定条件的焊盘和过孔。执行该命令后，系统将弹出如图 6-42 所示的"Hole Selector"对话框，定义孔直径。

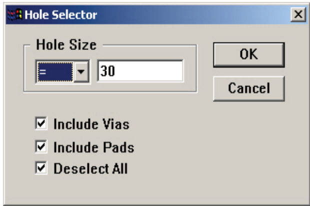


图 6-42 "Hole Selector"对话框

其中有 3 个复选框："Include Vias"表示选中所有满足条件的过孔；"Include Pads"表示包括所有焊盘；"Deselect All"表示选定对象之前，先释放所有已选定的对象。

- Toggle Selection：逐个选取对象，最后构成一个由选中的元器件组成的集合。

释放选取对象的命令的各选项与对应的选择对象命令的功能相反，操作一样，这里就不再重述。

6.6.2 旋转元器件

从图 6-41 所示可以看见有些元器件的方向排列还不一致，如果要将各元器件的排列方向也调整为一致，这就需要对元器件进行旋转操作。旋转元器件可以使用快捷键和菜单两种方式。选择"Edit" → "Move" → "Rotate Selection"命令可以实现对元器件进行旋转，也可以使用快捷键〈Space〉(即空格键)。使用菜单命令实现元器件旋转的操作过程如下。

1）首先选择"Edit" → "Select" → "Inside all"命令，然后拖动鼠标选中需要旋转的元器件。另外也可以直接拖动鼠标选中元器件对象。

2）接着选择"Edit" → "Move" → "Rotate Seclection"命令，系统将弹出如图 6-43 所示的"Rotation Angle"对话框。

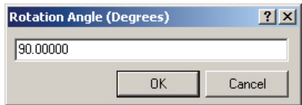


图 6-43 "Rotation Angle"对话框

3）设定了角度（例如 90°）后，单击"OK"按钮，系统将提示选取旋转基准点。选定了一个旋转基点后，选中的元器件就实现了旋转。

技巧：1）实际上，使用〈Space〉键旋转元器件最方便简单。只要单击需要旋转的元器件，并按住左键，然后按〈Space〉键就可以实现元器件的旋转。

2）也可以使用一种简单的操作方法实现对象旋转，直接双击需要旋转的元器件，然后

在其属性对话框中设定旋转角度。

6.6.3 移动元器件

Protel 99 SE 中，可以使用命令来实现元器件的移动，当选择了元器件后，执行移动命令就可以实现移动操作。元器件移动的命令在菜单“Edit”→“Move”中，其子菜单如图 6-44 所示。子菜单“Edit”→“Move”中各个移动命令的功能如下所述。



图 6-44 “Edit”→“Move”子菜单

- Move：移动元器件。当选中元器件后，选择该命令，用户就可以拖动鼠标，将元器件移动到合适的位置，这种移动方法不够精确，但很方便。当然在使用该命令时，也可以不先选中元器件，可以在执行命令后选择元器件。
- Drag：启动该命令前，可以预先选中元器件，也可以不用预先选中元器件。启动该命令后，光标变成十字状。在需要拖动的元器件上单击，元器件就会跟着光标一起移动，将元器件移到合适的位置。再单击即可完成此元器件的重新定位。
- Component：此命令的功能与上述两个命令的功能一样，也是实现元器件的移动，操作方法类似。
- Re-Route：对移动后的元器件重新布线。
- Break Track：打断某些导线。
- Drag Track End：选取导线的端点为基准移动元器件对象。
- Move Selection：将选中的多个元器件移动到目标位置，该命令必须在选中了元器件（可以选中多个）后，才能有效。
- Rotate Selection：旋转选中的对象，执行该命令必须先选中元器件。
- Flip Selection：将所选的对象翻转 180°，与旋转不同。

下面以图 6-41 为例来讲述移动元器件的操作步骤。

1）首先选择“Edit”→“Select”→“Inside all”命令，然后选中需要移动的元器件，如图 6-45 所示为选中了将要移动的元器件对象。另外，也可以直接拖动鼠标选中元器件对象，如图 6-46 所示，此时光标会移到元器件的基准点。

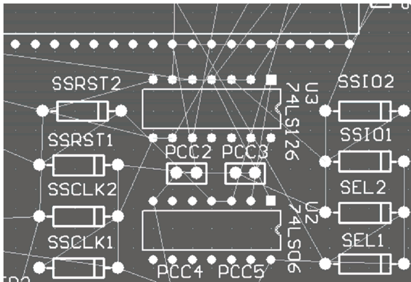


图 6-45 U3 即为选中的元器件

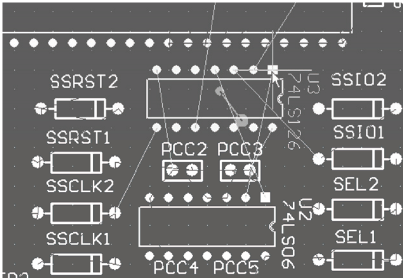


图 6-46 直接使用鼠标移动元器件

2）接着选择“Edit”→“Move”命令或其他相关的移动对象命令，对选定的对象实现移动操作。用户也可以在选中元器件后直接拖动鼠标移动对象。经过移动调整后 PCB 布局

图如图 6-47 所示。

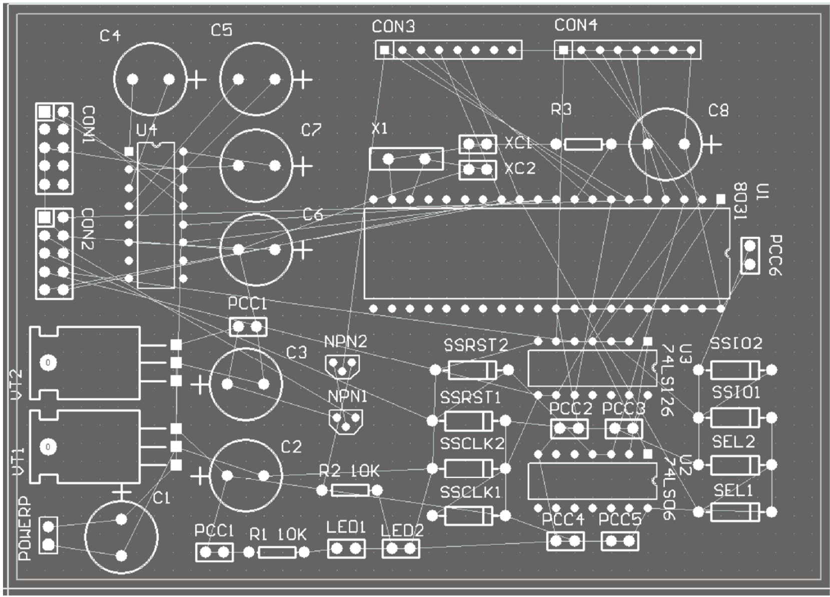


图 6-47　元器件移动后的 PCB 布局

在进行手动移动器件期间，按〈N〉键可以使网络飞线暂时消失，当移动到指定位置后，网络飞线自动恢复。

技巧：用户也可以使用一种简单的操作方法，具体方法如下。

1）首先单击需要移动的元器件，并按住不放，此时光标变为十字，表明已选中要移动的元器件了。

2）按住左键不放，然后拖动鼠标，则十字光标会带动被选中的元器件进行移动，将元器件移动到适当的位置后，松开鼠标左键即可。

6.6.4　排列元器件

排列元器件可以选择“Tools”→“Interactive Placement”子菜单的相关命令来实现，该子菜单一共有多种排列方式，如图 6-48 所示。也可以从“Component Placement”（元器件位置调整）工具栏选取相应命令来排列元器件。

1．子菜单中的主要命令和功能

1）Align：选取该菜单将弹出“Align Components（对齐元器件）”对话框，该对话框列出了多种对齐的方式，如图 6-49 所示，该命令也可以从工具栏（如图 6-50 所示）上单击按钮来激活。

- Left：将选取的元器件，向最左边的元器件对齐。
- Right：将选取的元器件，向最右边的元器件对齐。
- Center（Horizontal）：将选取的元器件，按元器件的水平中心线对齐。
- Space equally（Horizontal）：将选取的元器件，水平平铺，相应的工具栏按钮为。

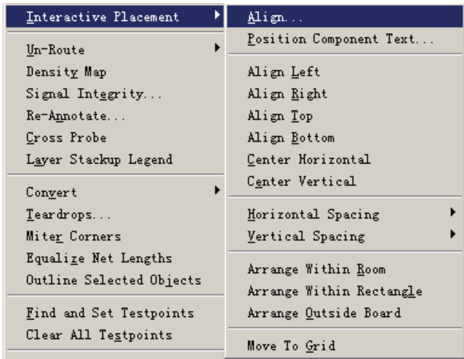


图 6-48 “Interactive Placement”菜单

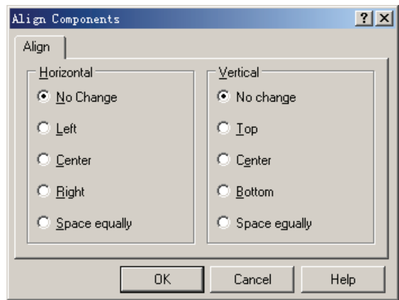


图 6-49 “Align Components”对话框

- Top：将选取的元器件，向最上面的元器件对齐。
- Bottom：将选取的元器件，向最下面的元器件对齐。
- Center（Vertical）：将选取的元器件，按元器件的垂直中心线对齐。
- Space equally（Vertical）：将选取的元器件，垂直平铺，相应的工具栏按钮为 。

2）Component Text Position：执行该命令后，系统弹出如图 6-51 所示的“Component Text Position（元器件文本位置设置）”对话框，可以在该对话框中设置元器件文本的位置，也可以直接手动调整文本位置。

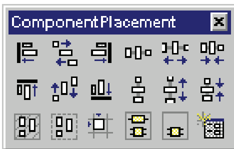


图 6-50 “Component Placement”工具栏

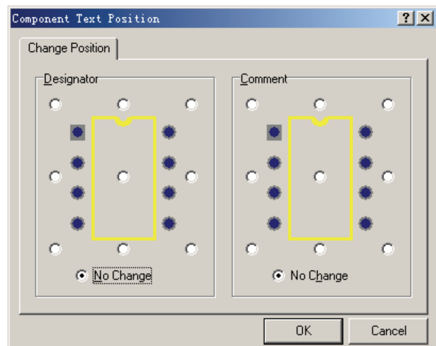


图 6-51 “Component Text Position”对话框

3）Align Left：将选取的元器件，向最左边的元器件对齐，相应的工具栏按钮为 。

4）Align Right：将选取的元器件，向最右边的元器件对齐，相应的工具栏按钮为 。

5）Align Top：将选取的元器件，向最顶部的元器件对齐，相应的工具栏按钮为 。

6）Align Bottom：将选取的元器件，向最底部的元器件对齐，相应的工具栏按钮为 。

7）Center Horizontal：将选取的元器件，按元器件的水平中心线对齐，相应的工具栏按钮为 。

8）Center Vertical：将选取的元器件，按元器件的垂直中心线对齐，相应的工具栏按钮为 。

9）“Horizontal Spacing”子菜单中有如下 3 个命令选项。

- Make Equal：将选取的元器件水平平铺，相应的工具栏按钮为 。

- Increase：将选取的元器件的水平间距增大，相应的工具栏按钮为。
- Decrease：将选取的元器件的水平间距减小，相应的工具栏按钮为

10）“Vertical Spacing”子菜单中有如下 3 个命令选项。

- Make Equal：将选取的元器件垂直平铺，相应的工具栏按钮为。
- Increase：将选取的元器件的垂直间距增大，相应的工具栏按钮为。
- Decrease：将选取的元器件的垂直间距减小，相应的工具栏按钮为。

11）“Arrange within Room”命令为将选取的元器件的在空间定义内部排列，相应的工具栏按钮为。

12）“Arrange within Rectangle”命令为将选取的元器件的在一个矩形内部排列，相应的工具栏按钮为。

13）“Arrange Outside Board”命令为将选取的元器件的在一个 PCB 的外部进行排列。

14）Move To Grid：将被选取的元器件移动到栅格上，执行该命令选项后，会出现如图 6-52 所示的对话框。用户只需根据实际的需要即可输入栅格值。

2．排列元器件的操作步骤

1）首先选择“Edit”→“Select”→“Inside all”命令，然后拖动鼠标选中需要移动的元器件，这里先对每一行元器件进行排列。另外，也可以直接拖动鼠标选中元器件对象。

2）接着选择“Tools”→“Interactive Placement”→“Align”命令，在“Horizontal”选项组中选择“No Changed”单选按钮，而“Vertical”选项组选择“Bottom”单选按钮，如图 6-53 所示。单击“OK”按钮后，系统则按上述操作分别排列各行的元器件。

3）接着选中各列的元器件，对其进行左右对准排列，操作过程可以参考前面的讲解。

4）根据需要，可以选择不同的方式对被选择的元器件进行排列，排列各元器件后的布局如图 6-54 所示。

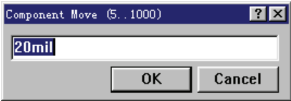


图 6-52 “Component Move”对话框

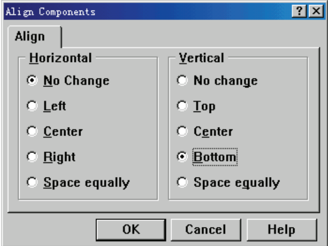


图 6-53 “Align Components”对话框

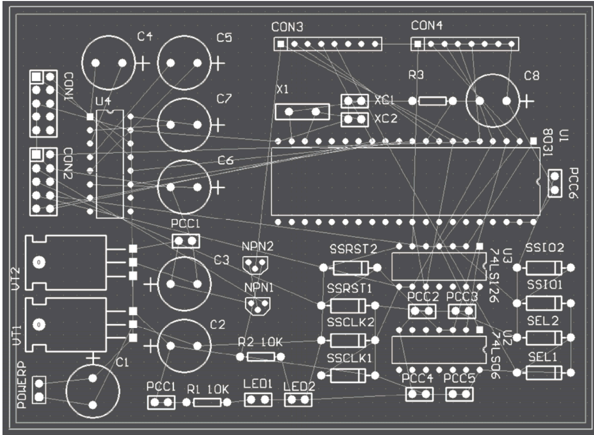


图 6-54 排列元器件后的 PCB 布局

6.6.5 调整元器件标注

元器件的标注不合适虽然不会影响电路的正确性，但是对于一个有经验的电路设计人员

来说，电路板板面的美观也是很重要的。因此，可按如下步骤对元器件标注加以调整。

1）首先选中字符串，然后右击，并从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，或者双击字符串，系统也将会弹出如图 6-55 所示的“Designator”对话框，此时可以设置文字标注属性。

2）通过该对话框，可以设置文字标注。

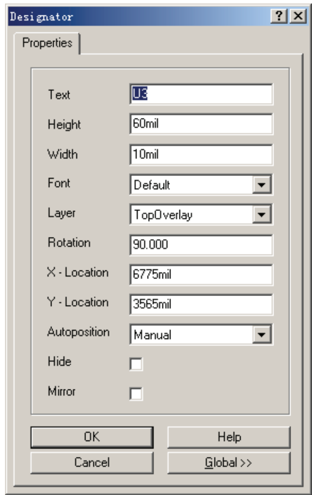


图 6-55 “Designator”对话框

6.6.6 剪贴复制元器件

1. 一般性的粘贴复制

当需要复制元器件时，可以使用 Protel 99 SE 提供的复制、剪切和粘贴元器件的命令。

1）复制，选择“Edit”→“Copy”命令，将选取的元器件作为副本，放入剪贴板中。

2）剪切，选择“Edit”→“Cut”命令，将选取的元器件直接移入剪贴板中，同时电路图上的被选元器件被删除。

3）粘贴，选择“Edit”→“Paste”命令，将剪贴板里的内容作为副本，复制到电路图中。

这些命令也可以在主工具栏中选择执行。另外，系统还提供了功能热键来实现剪贴复制操作。

- Copy 命令：〈Ctrl+Insert〉键。
- Cut 命令：〈Shift+Delete〉键。
- Paste 命令：〈Shift+Insert〉键。

注意：复制一个或一组元器件时，选择了需要复制的元器件后，系统还要求选择一个复制基点，该基点很重要，应该选择合适基点，这样可以方便后面的粘贴操作。

2. 选择性的粘贴

选择性的粘贴是一种特别的粘贴方式，选择性粘贴可以按设定的粘贴方式复制元器件，也可以采用阵列方式粘贴元器件，选择性粘贴的操作步骤如下。

1）选择“Edit”→“Paste Special”命令，启动阵列式粘贴，系统将弹出图 6-56 所示的“Paste Special（选择性粘贴）”对话框。

2）设置选择性粘贴方式。在图 6-56 所示的对话框中，可以设置粘贴方式。各选项的意义如下。

- Paste on current：将对象粘贴在当前的工作层上，但是对象的焊盘、过孔、位于丝印层上的元器件标号、形状和注释保留在原来工作层上。
- Keep net name：如果元器件粘贴在同一个文档中，则相同复制对象会保持电气网络连接。粘贴操作后，相同对象会保持同性质的电气网络连接线，如图 6-57 所示。
- Duplicate designator：对象如果粘贴在同一文档中时，被粘贴的对象名称与原对象一样。如图 6-58 所示为选择“Duplicate designator”选项粘贴的对象。

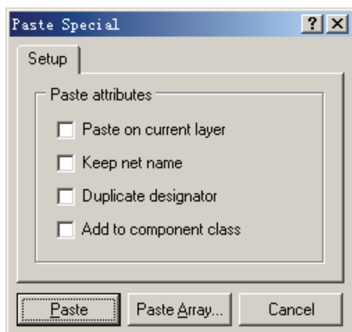


图 6-56 “Paste Special”对话框

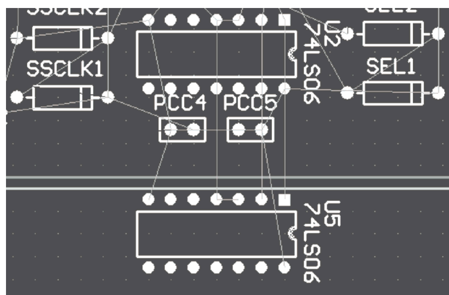


图 6-57 粘贴后两元器件间生成的网络连接

- Add to component class：如果将对象粘贴在同一文档中，被粘贴的对象将与源对象形成相同的元器件类。

3）当设置了粘贴方式后，就可以单击“Paste”按钮直接将对象粘贴到目标位置，也可以单击“Paste Array”按钮，进行阵列粘贴对象。如果采用阵列粘贴对象，则系统将会弹出如图 6-59 所示的“Setup Paste Array（阵列式粘贴）”对话框，该功能也可以从“Placement Tools”工具栏单击按钮来执行。

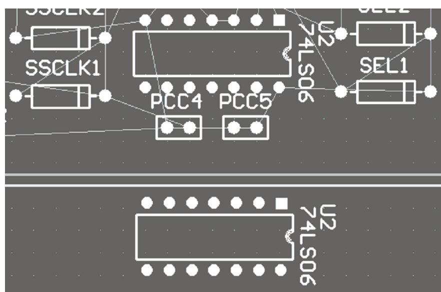


图 6-58 粘贴的对象与原对象同名

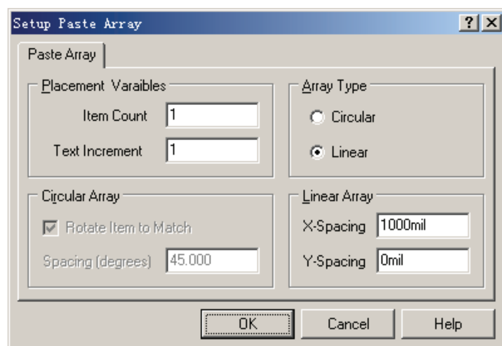


图 6-59 “Setup Paste Array”对话框

该对话框中的各选项功能如下。

- Placement Varaibles：其中有两个文本框，“Item Count”文本框用于设置所要粘贴的元器件个数；“Text Increment”文本框用于设置所要粘贴元器件序号的增量值。如果将该值设定为 1，且元器件序号为 R1，则重复放置的元器件中，序号分别为 R2、R3、R4。
- Array Type：用来设置阵列复制类型，“Circular”选项为周向阵列复制；“Linear”选项为沿直线阵列复制。
- Circular Array：在选择了“Circular”阵列类型时有效，其中“Rotate Item to Match”复选按钮选中，表示适当旋转对象以匹配放置的位置；“Spacing（degrees）”文本框用来设置周向阵列的间距（角度）。
- Linear Array：在选择了“Linear”阵列类型时有效，其中“X-Spacing”文本框用来设置 X 向的间距；“Y-Spacing”文本框用来设置 Y 向的间距。

6.6.7 删除元器件

1．一般元器件的删除

当图形中的某个元器件不需要时，可以对其进行删除。删除元器件可以使用“Edit”菜单中的“Clear”和“Delete”命令。

“Clear”命令的功能是删除已选取的元器件。启动“Clear”命令之前需要选取元器件，启动“Clear”命令之后，已选取的元器件立刻被删除。

“Delete”命令的功能也是删除元器件，只是启动“Delete”命令之前不需要选取元器件，启动“Delete”命令后，光标变成十字状，将光标移到所要删除的元器件上单击，即可删除元器件。

2．删除导线

选中导线后，按〈Delete〉键即可将选中的对象删除。下面为各种导线段的删除方法。

- 导线段的删除。删除导线段时，选中所要删除的导线段（在所要删除的导线段上单击），然后按〈Delete〉键，即可实现导线段的删除。

另外，还有一个很好用的命令。选择“Edit”→“Delete”命令，光标变成十字状，将光标移到任意一个导线段上，光标上出现小圆点，单击即可删除该导线段。

- 两焊盘间导线的删除。选择“Edit”→“Select”→“Physical Connection”命令，光标变成十字状。将光标移到连接两焊盘的任意一个导线段上，光标上出现小圆点，单击可将两焊盘间所有的导线段选中，然后按〈Ctrl+Delete〉键，即可将两焊盘间的导线删除。
- 删除相连接的导线。选择“Edit”→“Select”→“Connected Copper”命令，光标变成十字状。将光标移到其中一个导线段上，光标上出现小圆点，单击可将所有有连接关系的导线选中，然后按〈Ctrl+Delete〉键，即可删除连接的导线。
- 删除同一网络的所有导线。选择“Edit”→“Select”→“Net”命令，光标变成十字状。将光标移到网络上的任意一个导线段上，光标上出现小圆点，单击可将网络上所有导线选中，然后按〈Ctrl+Delete〉键，即可删除网络的所有导线。

6.7 布线前的设置

在印制电路板布局结束后，便进入 PCB 的布线过程。一般说来，用户先是对 PCB 布线提出某些要求，然后按照这些要求来预置布线设计规则。预置布线设计规则设定的是否合理将直接影响布线的质量和成功率。设置完布线规则后，程序将依据这些规则进行布线。

6.7.1 工作层

（1）工作层

- Signal Layer（信号层）：对于双面板而言，信号层必须要求有两个，即 Top Layer（顶层）和 Bottom Layer（底层），这两个工作层必须设置为打开状态。根据设计的需要，也可以在 PCB 上添加更多的信号层。
- Internal Layer（电源层）：电源层也称为电源参考平面或镜像平面，可以根据设计需

要设置内部电源层。比如高速 PCB 的设计或者较大项目设计，那么为了提高系统的抗干扰性，可以设置内部电源层。

如果需要添加信号层或电源层，则可以执行层管理器命令来进行这个操作，具体可以参考 6.1 节的讲解。

（2）工作层的设置

进行布线前，还应该设置工作层，以便在布线时可以合理安排线路的布局。工作层的设置步骤如下。

- 首先选择“Design”→“Options”命令。
- 执行该命令后，系统将会弹出“Document Options（设置工作层）”对话框，如图 6-60 所示。

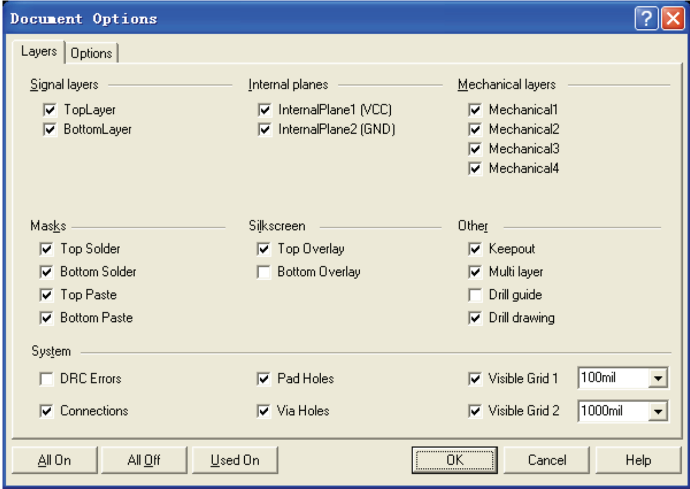


图 6-60 “Document Options”对话框

- 在对话框中进行工作层的设置，双面板需要选定信号层的“TopLayer”和“Bottom Layer”复选框，其他选择系统默认值即可。

该对话框各选项的意义和设置可以参考 6.1 节的讲解，这里不再重述。

6.7.2 设置布线的设计规则

1．布线规则的基本知识

布线规则是 PCB 布线的重要设置，PCB 的自动或手动交互布线都是按照布线规则来进行的。布线规则规定了走线的一些相关参数，比如走线线宽、安全间距等。下面简单叙述一下布线规则的相关参数。

- Clearance Constrant（安全间距允许值）：在布线之前，需要定义同一个层面上两个图元之间所允许的最小间距，即安全间距。根据经验结合本例的具体情况，可以设置为 10mil。
- 布线拐角模式：根据电路板的需要，将电路板上的布线拐角模式设置为 45 度角模式。
- 布线层的确定：对于双面板而言，一般将顶层布线设置为沿垂直方向，将底层布线

设置为沿水平方向。

- Routing Priority（布线优先级）：布线优先级可以设置为从 0 到 100。0 为最低优先级，100 位最高优先级。优先级是一个相对值，用于设定网络自动布线的顺序。
- Routing Topology（布线拓扑方法）：一般说来，确定一条网络的走线方式是以布线的总线长为最短作为设计原则。
- Routing Via Style（过孔的类型）：对于过孔类型，应该与电源/接地线以及信号线区别对待。在这里设置为 Through Hole（通孔）。对电源/接地线的过孔要求的孔径参数为：Hole Size（孔径）为 20mil，Width（宽度）为 50mil。一般信号类型的过孔为孔径 20mil，宽度 40mil。
- 对走线宽度的要求：根据电路的抗干扰性和实际的电流的大小，将电源和接地的线宽要足够大，以便能承受足够的电流。一般的信号线的走线宽度则根据制造工艺来确定，宽度越大越好。目前的 PCB 加工工艺可以达到 5mil 的信号线宽。表 6-1 列出了推荐的布线线宽设置，走线宽度不但与所流过的电流大小相关，而且还和走线的铜厚度也相关。通常最常用的铜为 1oz（盎司）的材料。该表是相对于外部信号层的，对于内部信号层，其单位宽度所允许的电流和外层是不一样的，通常要比外层小。比如对于 10mil 的信号走线，对于同样为 1oz 的铜，外部可以流过的电流为 1A，而内部的信号层则只能允许 0.45A 的电流。

表 6-1　推荐的走线线宽

电流大小/A	走线宽度（1oz 的铜）/mil	走线宽度（2oz 的铜）/ mil	电流大小/A	走线宽度（1oz 的铜）/mil	走线宽度（2oz 的铜）/ mil
1	10	5	6	150	75
2	30	15	7	180	90
3	50	25	8	220	110
4	80	40	9	260	130
5	110	55	10	300	150

2．布线参数的设置

在布线之前，必须先进行其参数的设置，下面讲述布线参数的设置过程。

首先选择“Design”→“Rules”命令，系统将会弹出如图 6-61 所示的“Design Rules”对话框，在此对话框中可以设置布线参数。

单击图 6-61 中的“Routing”选项卡，即可进入布线参数的设定。布线规则一般都集中在 Rule Classes（规则类）中。在该选项卡中可以设置：Clearance Constrant（走线间距约束）、Routing Corners（布线拐角模式）、Routing Layers（布线工作层）、Routing Priority（布线优先级）、Routing Topology（布线的拓扑结构）、Routing Via Style（过孔的类型）、SMD To Corner Constraint（走线拐弯处与磁敏二极管的距离）、Width Constraint（走线宽度）。下面分别讲述这些选项的设置。

1）Clearance Constraint：该项用于设置走线与其他对象之间的最小距离。将光标移动到“Clearance Constraint”处右击，系统会弹出如图 6-62 所示的快捷菜单，然后从快捷菜单中选择“Add”命令，即可进入“Clearance Rule（安全间距设置）”对话框，如图 6-63 所示。

用户双击“Clearance Constraint”选项，系统也可以弹出该对话框。该对话框主要设置两部分的内容，分别如下。

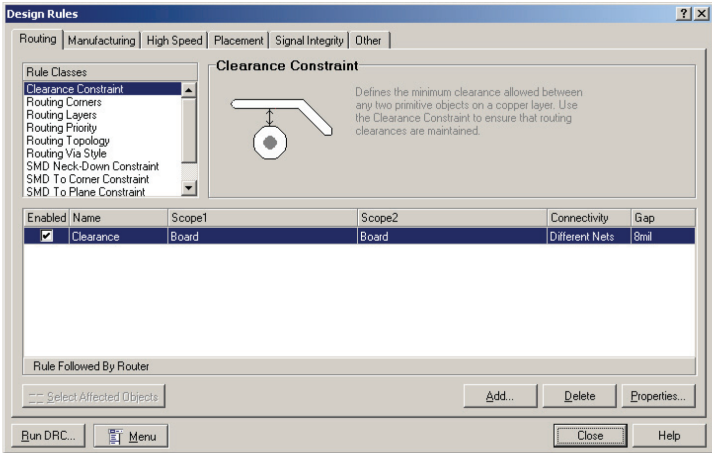


图 6-61 “Design Rules”对话框

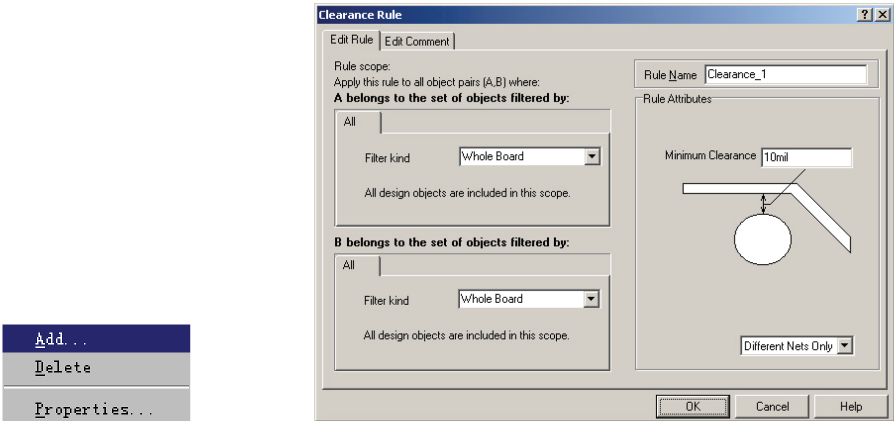


图 6-62 快捷菜单

图 6-63 “Clearance Rule”对话框

- Rule scope（规则范围）：主要用于指定本规则适用的范围，一般情况下，指定为该规则适用于 Whole Board（整个电路板）。
- Rule attributes（规则属性）：用户可以根据实际的情况输入允许的图元之间的最小间距。

2）Routing Corners：该选项用来设置走线拐弯的样式。双击“Routing Corners”选项，系统将弹出如图 6-64 所示的“Routing Corners Rule”对话框。该对话框主要设置两部分内容，分别如下。

- Rule scope（规则范围）：主要用于指定本规则适用的范围，一般情况下，指定为该规则适用于整个电路板（Whole Board）。
- Rule attributes（规则属性）：用于设定拐角模式。拐角模式有 45°、90°和圆弧等，这里均取系统的默认值。

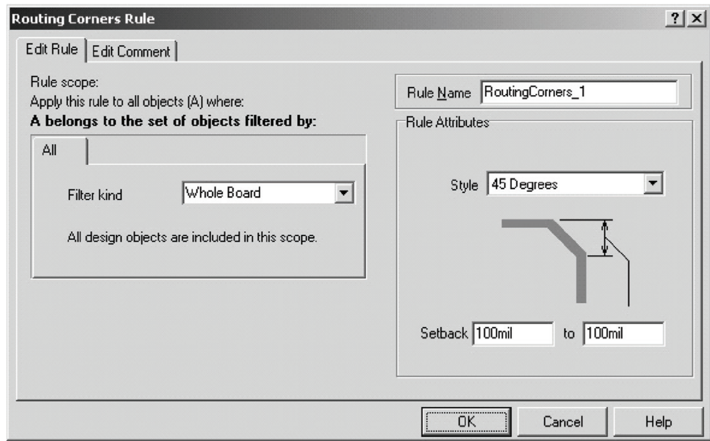


图 6-64 “Routing Corners Rule”对话框

3）Routing Layers：该选项用来设置在自动布线过程中哪些信号层可以使用。双击“Routing Layers”选项，系统将会弹出如图 6-65 所示的“Routing Layers Rule（布线工作层）”对话框。该对话框中用大写字母“T”代表 Top Layer（顶层），MidLayer1～MidLayer 14 代表中间层，字母“B”代表 Bottom Layer（底层），各项一般可以设置为 Horizontal（水平）或 Vertical（垂直）；Horizontal 表示该工作层布线以水平为主，Vertical 表示该工作层以垂直为主。

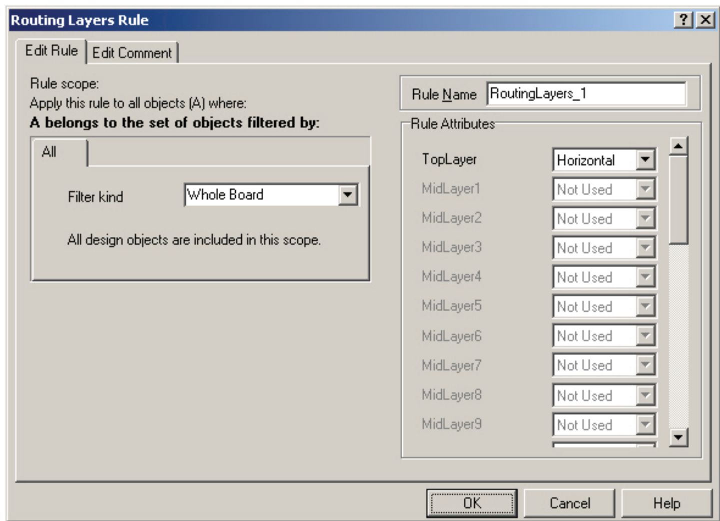


图 6-65 “Routing Layers Rule”对话框

4）Routing Priority：该选项可以设置布线的优先级，即布线的先后顺序。先布线的网络的优先权比后布线的网络的优先权要高。Protel 提供了 0～100 个优先权设定，数字 0 代表的优先权最低，数字 100 代表该网络的布线优先权最高。双击“Routing Priority”选项，系统将会弹出如图 6-66 所示的“Routing Priority Rule（布线优先权）”对话框。用户也可以将光标移动到“Routing Priority”处右击，然后从弹出的快捷菜单中选择“Properties”命令，也

可进入“Routing Priority Rule（布线优先权）”对话框。

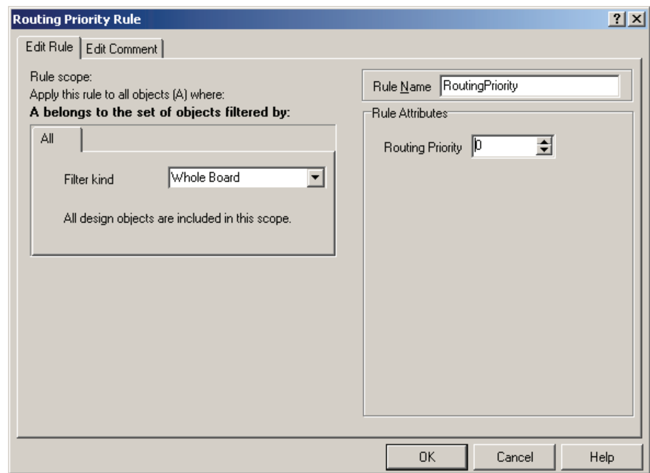


图 6-66 “Routing Priority Rule”对话框

5）Routing Topology：该选项用来设置布线的拓扑结构。双击该选项后，系统将会弹出如图 6-67 所示的“Routing Topology Rule（布线拓扑结构）”对话框。通常系统在自动布线时，以整个布线的线长最短为目标。用户也可以选择 Horizontal、Vertical、Daisy-Simple、Diasy-MidDriven、Diasy-Balanced 和 Starburst 等拓扑选项，选中各选项时，相应的拓扑结构会显示在对话框中。在本实例使用默认值 Shortest。

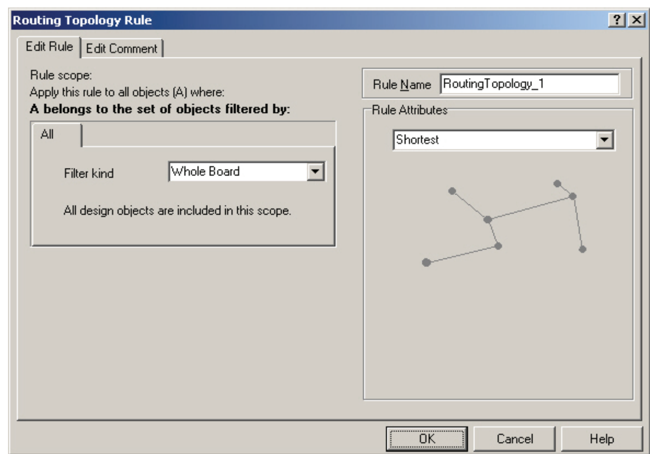


图 6-67 “Routing Topology Rule”对话框

6）Routing Via Style：该选项用来设置自动布线过程中使用的过孔的样式。双击“Routing Via Style”选项，系统将会弹出如图 6-68 所示的“Routing Via-Style Rule”对话框。用户也可以将光标移动到“Routing Via Style”处右击，然后从弹出的快捷菜单中选择“Properties”选项，也可进入“Routing Via-Style Rule（过孔的类型）”对话框。

通常过孔类型包括 Through Hole（通孔）、Blind Buried [Adjacent Layer]（层附近隐藏式盲孔）和 Blind Buried [Any Layer Pair]（任何层对的隐藏式盲孔）。层附近隐藏式盲孔只穿透

相邻的两个工作层；任何层对的隐藏式盲孔可以穿透指定工作层对之间的任何工作层。本实例中选择 Through Hole。

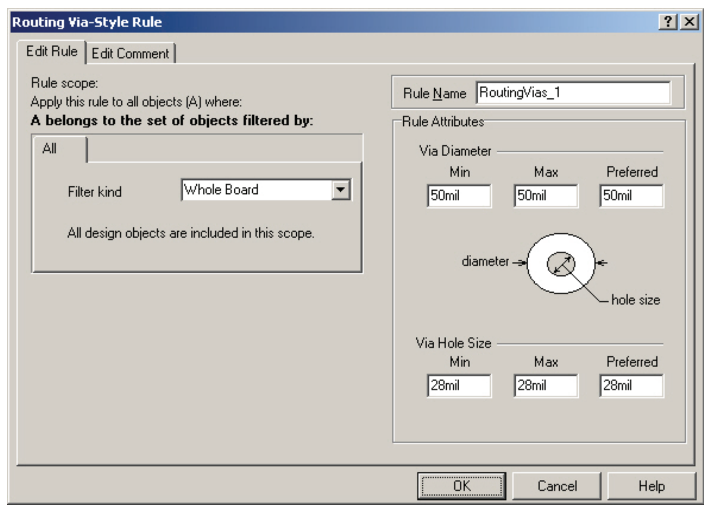


图 6-68 “Routing Via-Style Rule”对话框

7）SMD Neck-Down Constraint：该选项定义 SMD 的瓶颈限制。即 SMD 的焊盘宽度与引出导线宽度的百分比。双击该选项后，系统将会弹出如图 6-69 所示的“SMD Neck-Down rule（SMD 的瓶颈限制）”对话框。

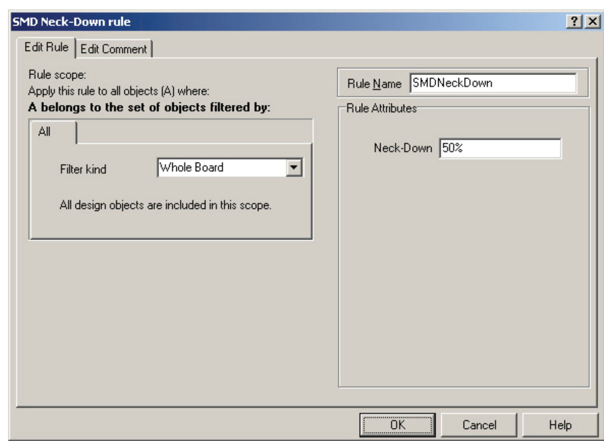


图 6-69 “SMD Neck-Down rule”对话框

8）SMD To Corner Constraint：该选项用来设置 SMD 焊盘走线拐弯处的约束距离。

在该对话框右侧的“Distance”文本框中可以输入 SMD 焊盘走线拐弯处的约束距离，另外规则的适用范围可以设定为“Whole Board”。

9）SMD To Plane Constraint：该选项定义 SMD 到电源层的距离限制。

10）Width Constraint：该选项可以设置走线的最大和最小宽度。双击该选项，系统将会弹出如图 6-70 所示的“Max-Min Width Rule（走线宽度设置）”对话框。

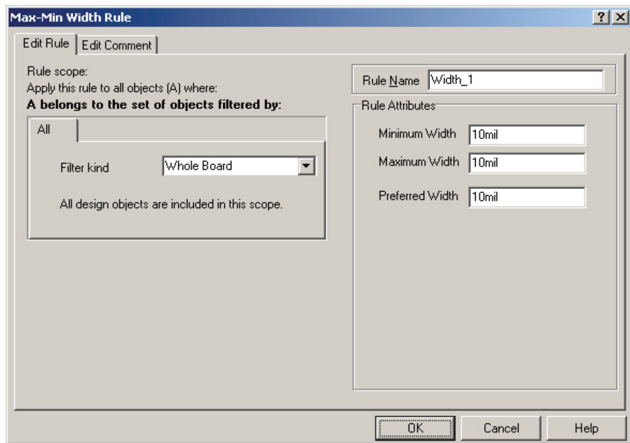


图 6-70 “Max-Min Width Rule”对话框

用户可以分别在“Minimum Width”文本框中设置最小走线宽度，在“Maximum Width”文本框中设置最大走线宽度，本实例分别设定为 10mil 和 20mil。

6.7.3 设计规则检查

Protel 99 SE 具有一个有效的设计规则检查（DRC—Design Rule Check）功能，该功能可以确认设计是否满足设计规则。DRC 可以测试各种违反走线情况，比如安全错误、未走线网络、宽度错误、长度错误、影响制造和信号完整性的错误。

DRC 可以后台运行，以防止违反设计规则。这种后台运行模式可以通过“设计规则检查”对话框的“On-line”选项卡实现。用户也可以随时手动运行来检查是否违反设计规则。

运行 DRC 可以选择“Tools”→“Design Rule Check”命令，系统将弹出如图 6-71 所示的“Design Rule Check（设计规则检查）”对话框。

在“Report”（报告）选项卡（如图 6-71 所示）中设定需要检查的规则选项。然后单击“Run DRC”按钮，就可以启动 DRC 运行模式，完成检查后将在设计窗口显示任何可能违反的规则。

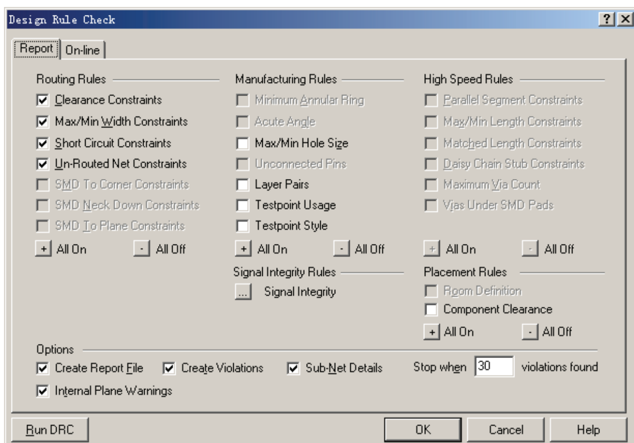


图 6-71 “Design Rule Check”对话框

当用户想在线运行 DRC，可以在“On-line”选项卡进行设置，如图 6-72 所示。在该选项卡中，可以设置在线规则检查选项，设置了选项后，单击“Run DRC”按钮，即可进行后台检查。

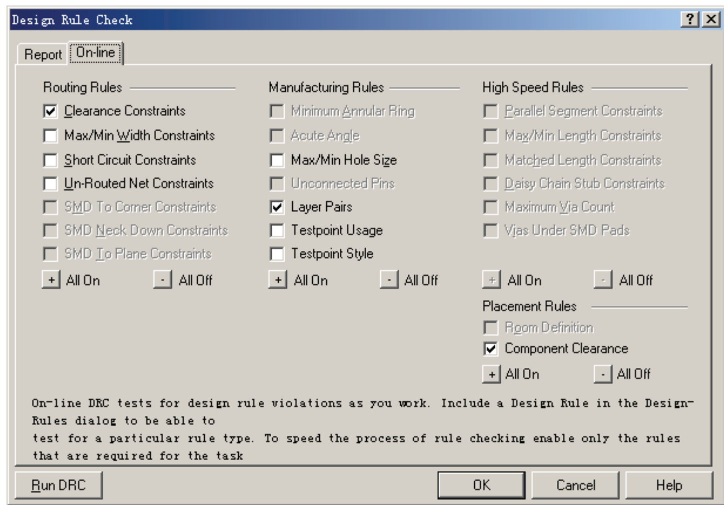


图 6-72 “On-line”选项卡

注意：设计规则检查（DRC）是一个有效的自动检查特征，既能够检查用户设计的逻辑完整性，也可以检查物理完整性。在设计任何 PCB 时该功能均应该运行，对涉及的规则进行检查，以确保设计符合安全规则，并且没有违反任何规则。

6.8 自动布线

布线参数设置好后，就可以利用 Protel 99 SE 提供的布线器进行自动布线了。执行自动布线的方法主要有以下几种。

1．全局布线

1）首先选择“Auto Route”→“All”命令，对整个电路板进行布线。

2）执行该命令后，系统将弹出如图 6-73 所示的“Autorouter Setup（自动布线设置）”对话框。

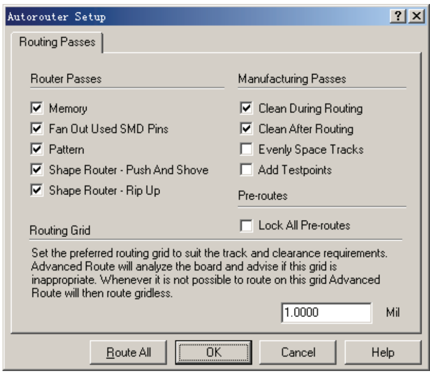


图 6-73 “Autorouter Setup”对话框

通常，用户可以采用对话框中的默认设置，就可以实现 PCB 的自动布线，但是如果用户需要设置某些项，可以通过对话框的各选项实现。用户可以分别设置“Router Passes”（走线通过）的各选项和“Manufacturing Passes”（制造通过）的各选项。如果需要设置测试点，则可以选中“Add Testpoints”（添加测试点）复选框；如果已经手动实现了一部分布线，而且不想让自动布线处理这部分布线的话，可以选

中“Lock All Pre-Routes”（锁定所有预拉线）复选框。在“Routing Grid”（布线间距）文本框中可以设置布线间距，如果设置不合理，系统会分析是否合理，并通知设计者。

3）单击“Route all”按钮，程序就开始对电路板进行自动布线。完成布线后的结果如图 6-61 所示。因为电路图比较大，图 6-74 中的元器件细节没有显示，可以选择“View”→“Area”命令局部放大某些部分。最后系统弹出一个“Design Explorer Information”对话框，如图 6-75 所示，用户可以了解到布线的情况。

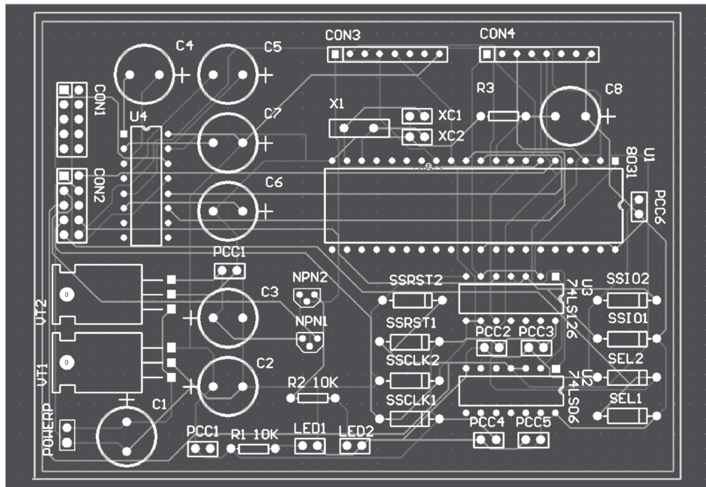


图 6-74　自动布线所得到的 PCB 布线图



图 6-75　“Design Explorer Information”对话框

2．对选定网络进行布线

用户首先定义需要自动布线的网络，然后选择“Auto Route”→“Net”命令，由程序对选定的网络进行布线工作。

1）首先选择“Auto Route”→“Net”命令。

2）执行该命令后，光标变为十字形状，可以选取需要进行布线的网络。如果单击的地方靠近焊盘时，系统可能会弹出如图 6-76 所示的菜单（该菜单对于不同焊盘可能不同），一般应该选择具有“Pad”或“Connection”选项，而不选择“Component”选项，因为“Component”选项仅仅是局限于当前元器件的布线。

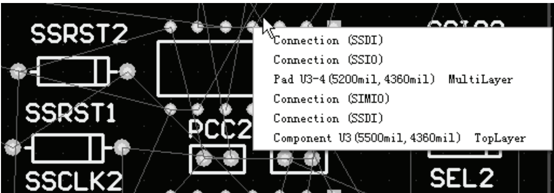


图 6-76　网络布线方式选项菜单

技巧：在元器件排列比较紧密的情况下，选择元器件时，也会弹出类似的菜单。用户可以通过这种菜单选择元器件。

本实例选择元器件 U3、PCC2、PCC3 和 SSIO1 之间的部分网络飞线，由图 6-77 可以看

到与这些飞线相连的网络都已被自动布线。

注意：一般以“Net”选项进行布线时，选中某网络连线时，则与该网络连线相连接的所有网络线均被布线，如图 6-77 所示的布线即存在这种情况。

3．对两连接点进行布线

用户可以先指定某条连线，然后选择“Auto Routing”→“Connection”命令，使程序仅对该条连线进行自动布线，也就是对两连接点进行布线。

1）首先选择“Auto Routing”→“Connection”命令。

2）执行该命令后，光标变为十字形状，选取需要进行布线的一条连线，对部分连接点布线后的结果如图 6-78 所示。

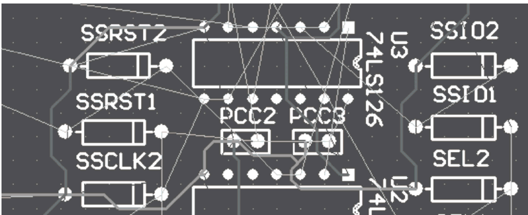


图 6-77　选定网络进行布线

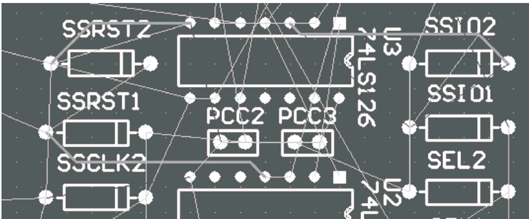


图 6-78　对两连接点进行布线

4．指定元器件布线

先指定某元器件，选择“Auto Route”→“Component”命令，使程序仅对与该元器件相连的网络进行布线。

1）首先选择“Auto Route”→“Component”命令。

2）执行该命令后，光标变为十字形状，选择需要进行布线的元器件，本实例选择元器件 U3 进行布线，可以看到系统完成了与 U3 有关的布线，如图 6-79 所示。

5．指定区域进行布线

先指定布线区域，然后选择“Auto Route”→“Area”命令，使程序的自动布线范围仅限于该定义区域内。

1）首先选择“Auto Route”→“Area”命令。

2）执行该命令后，光标变为十字形状，选择需要进行布线的区域，该区域包括 PCC2、PCC3、U2 和 U3 等元器件，系统将会对此区域进行自动布线，如图 6-80 所示，可以看出与上述所选元器件没有连线关系的地方没有布线。

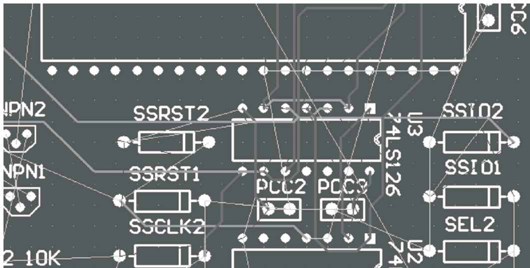


图 6-79　指定 par2 元器件布线

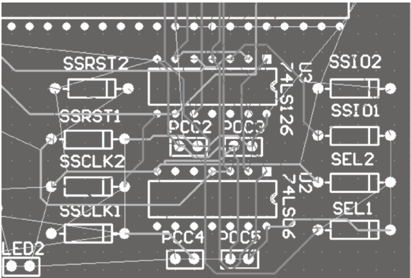


图 6-80　指定区域进行布线

6．其他布线命令

还有其他与自动布线相关的命令，各命令功能与操作如下。

- Stop：终止自动布线过程。
- Reset：对终止自动布线进行复位。
- Pause：暂停自动布线过程。
- Restart：重新开始暂停的自动布线过程。

7．自动布线设置

选择“Auto Route”→“Setup”命令，系统会弹出如图 6-73 所示的“Autorouter Setup”对话框。用户可以设置一些规则和测试点的特性。

6.9 手动调整

Protel 99 SE 的自动布线功能虽然非常强大，但是自动布线时多少也会存在一些令人不满意的地方。而一个设计美观的印制电路板往往需要在自动布线的基础上进行多次修改，才能将其设计得尽善尽美，下面讲述如何进行手动调整。

6.9.1 手动调整布线

（1）拆除已经布的线

在“Tools”→“Un-Route”菜单下提供了几个手动调整布线常用的命令，这些命令可以分别用来进行不同方式的布线调整。

- All：拆除所有布线，进行手动调整。
- Net：拆除所选布线网络，进行手动调整。
- Connection：拆除所选的一条连线，进行手动调整。
- Component：拆除与所选的元器件相连的导线，进行手动调整。

（2）使用交互方法对拆除的走线重新走线

对拆除的走线，可以选择“Place”→“Interactive Routing”命令，进行重新走线。

下面以“Connection”命令为例来介绍调整布线的操作步骤。如图 6-81 所示为对连接线路进行手动调整。

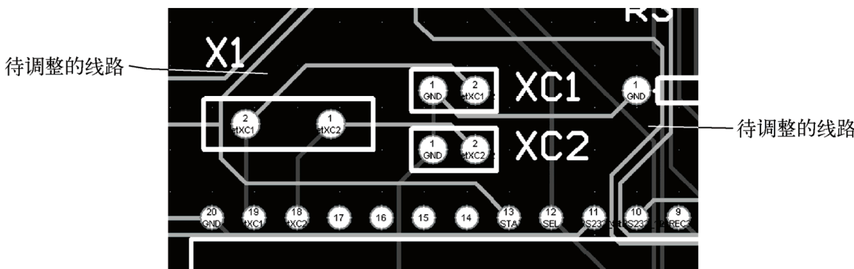


图 6-81　待调整的线路

1）将工作层切换到顶层（Top Layer），使顶层为当前活动的工作层。

2）然后选择“Tools”→“Un-Route”→“Connection”命令。

3）执行完该命令后，光标变为十字，移动光标到要拆除的网络上，单击确定。此时发现原先的该连线会消失，如图 6-82 所示。

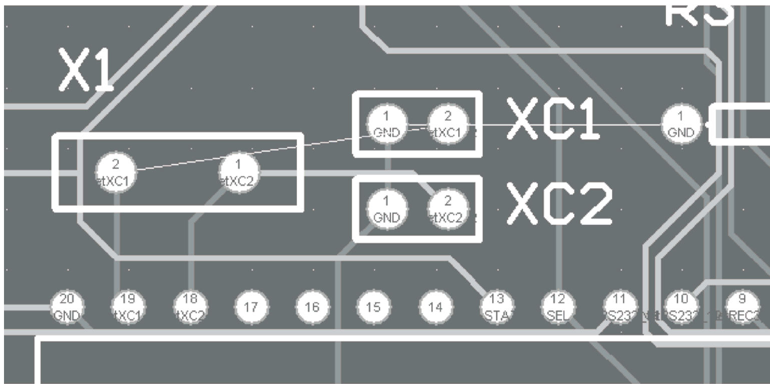


图 6-82　拆线后的结果

4）选择“Place”→“Interactive Routing”命令，将上述已拆除的飞线重新走线。重新走线后的布线如图 6-83 所示。

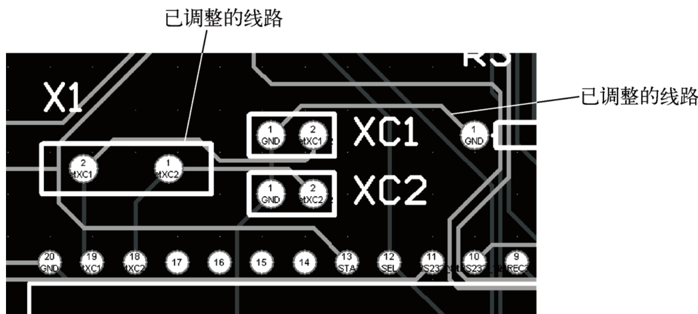


图 6-83　重新布线后的 PCB 电路图

6.9.2　预布电源/接地线

为了提高电源线承载电流的能力，以及系统的抗干扰能力，增加系统的可靠性，往往需要将电源/接地线设置较大的宽度。通常可以对电源或接地线进行预布线处理，比如可以在电路板的外围先布上较宽的电源或接地线，并将其锁定。然后修改布线规则中电源或接地网络的默认布线宽度，使其他的电源或接地线宽较小，最后再进行自动布线。

如图 6-84 所示即为在 PCB 上进行预布线处理，分别在顶层和底层的外围，预布了较宽的电源（VCC）和接地（GND）。为了布较宽的电源或接地线，可以在布线规则中设置电源网络和接地网络的线宽规则，如图 6-85 所示。分别设置了 VCC 网络和 GND 网络的走线宽度的规则，即最大为 100mil，最小为 10mil，首先为 20mil。在进行布线时，可以设置电源和接地线的线宽不大于 100mil 都符合规则。在本实例中，外围的 VCC 和 GND 参考走线宽度为 60mil，这可以在布线时设定，走线后如图 6-84 所示。

注意：在走线中修改了其宽度，也会修改设计规则中的首选宽度。因此，在预布了电源

和接地参考走线后，将电源和接地线宽的设计规则重新修改，即修改为首选的线宽为20mil。

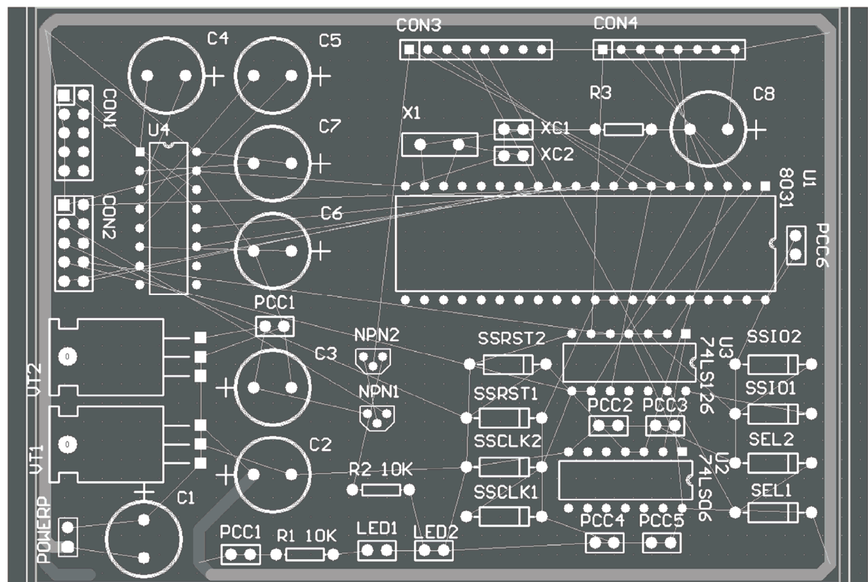


图 6-84　预布电源/接地线的结果

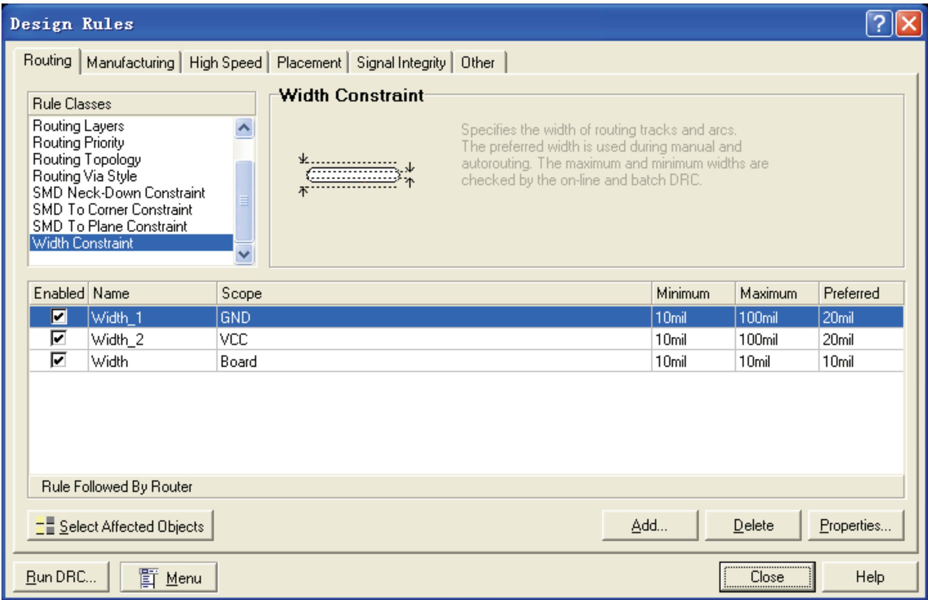


图 6-85　“Design Rules”对话框

然后可以重新使用自动布线来对 PCB 重新布线，选择“Auto Route”→“All”命令后，在弹出的对话框（如图 6-73 所示）中，选择“Lock All Pre-routes（锁定所有预布线）”复选框，然后进行自动布线。重新布线的 PCB 如图 6-86 所示。

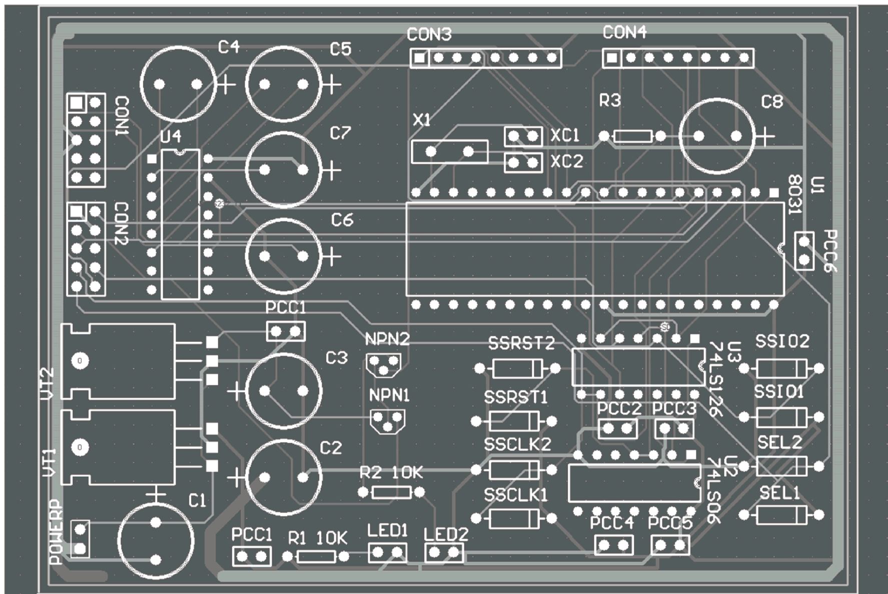


图 6-86　重新布线后的 PCB

6.9.3　敷铜处理

对于 PCB 来说，为了提高电路板的抗干扰能力，通常可以对 PCB 进行敷铜处理。下面讲述如何在已经布线的电路板上进行敷铜。

1）选择“Place”→“Polygon Plane”命令，或单击绘图工具栏中的按钮，系统弹出如图 6-87 所示的“Polygon Plane”对话框。在该对话框中，可以设置放置的敷铜与哪个网络相连。通常敷铜时，顶层和底层的敷铜均与 GND 相连，这样可以提高 PCB 的抗干扰能力。

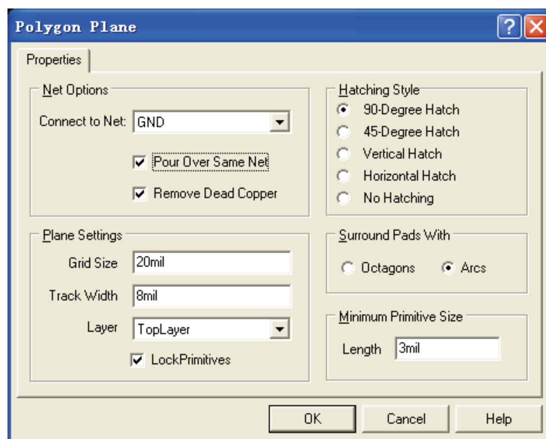


图 6-87　“Polygon Plane”对话框

此时在“Connect to Net”下拉列表框中选择“GND”，然后分别选中“Pour Over Same Net（相同的网络连接一起）”和“Remove Dead Copper（去掉死铜）”复选框，在“Layer”

下拉列表框中选择“Top Layer”，其他设置项可以取默认值。

2）设置完对话框后单击“OK”按钮，光标变成了十字形状，将光标移到所需的位置，单击确定多边形的起点。然后再移动鼠标到适当位置单击，确定多边形的中间点。

3）在终点处右击，程序会自动将终点和起点连接在一起，并且去除死铜，形成板上敷铜，如图 6-88 所示。

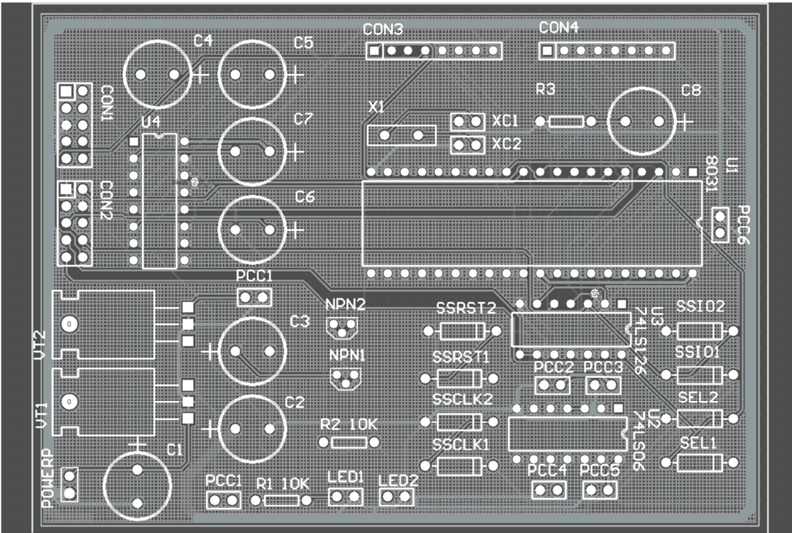


图 6-88　敷铜后的 PCB

对底层的敷铜操作与上面一样，只是在“Layer”下拉列表框中选择“Bottom Layer”。

注意：敷铜操作时，应该选中“Lock Primitives（锁定图元）”复选框，这样敷铜不会影响到原来布线的 PCB。

6.9.4　对焊盘和过孔补泪滴

应该对焊盘和过孔进行补泪滴处理。可以选择“Tools”→“Teardrop Options”命令来进行操作。执行该命令后，系统将弹出“补泪滴选项”对话框。然后分别选中所有焊盘和所有过孔，然后单击“OK”按钮即可，具体可参考 5.7.4 节。

注意：对于表贴元器件的安装焊盘最好进行补泪滴；对 PCB 的过孔也应该补泪滴。

6.10　PCB 流水号和原理图的更新

在进行自动布局时，一般元器件的标号以及注释等将从网络表中获得，并被自动放置到 PCB 上。经过自动布局后，元器件的相对位置与原理图中的相对位置将发生变化，在经过手动布局调整后，有时元器件的序号会变得很杂乱，所以经常需要对文字标注进行调整，使文字标注排列整齐，字体一致，使电路板更加美观。调整文字标注一般可以对元器件进行流水号更新，使流水号排列保持一致性，这样就需要对原理图相应的元器件流水号也进行更新。

下面分别讲述流水号更新以及原理图相应更新的操作。

1．手动更新流水号

1）移动光标，将光标指向需要调整的文字标注。

2）然后双击，此时会弹出“文字标注属性”对话框。

3）此时用户可以修改流水号，也可根据需要，修改对话框中文字标注的内容、字体、大小、位置及放置方向等。

2．自动更新流水号

1）选择 Tools”→“Re-Annotate”命令，系统将弹出如图 6-89 所示的“Positional Re-Annotate（选择流水号方式）”对话框。

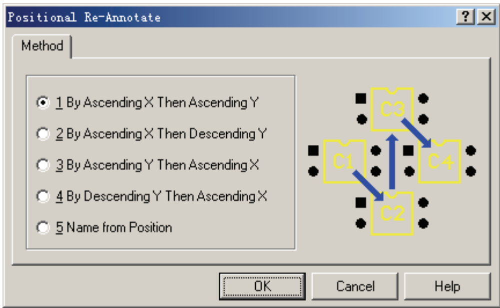


图 6-89 “Positional Re-Annotate”对话框

系统提供了 5 种更新方式，下面分别说明。

- By Ascending X Then Ascending Y：该选项表示先按横坐标从左到右，然后再按纵坐标从下到上编号，如图 6-90 所示。
- By Ascending X Then Descending Y：表示先按横坐标从左到右，然后再按纵坐标从上到下编号，如图 6-91 所示。

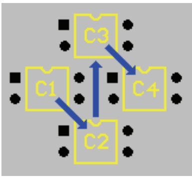


图 6-90 By Ascending X Then Ascending Y 方式

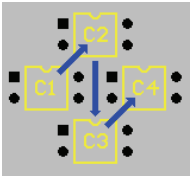


图 6-91 By Ascending X Then Descending Y 方式

- By Ascending Y Then Ascending X：表示先按纵坐标从下到上，然后再按横坐标从左到右编号，如图 6-92 所示。
- By Descending Y Then Ascending X：表示先按纵坐标从上到下，然后再按横坐标从左到右编号，如图 6-93 所示。
- Name from Position：表示根据坐标位置进行编号。

2）当完成上面方式选择后，可以单击“OK”按钮，系统将按照设定的方式对元器件流水号重新编号。这里选择第 1 种方式进行流水号排列。

元器件重新编号后，系统将同时生成一个 WAS 文件，记录了元器件编号的变化情况。

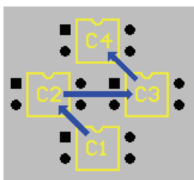


图 6-92　By Ascending Y Then Ascending X 方式

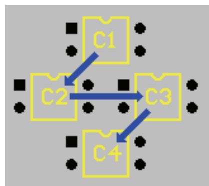


图 6-93　By Descending Y Then Ascending X 方式

3．更新原理图

当 PCB 的元器件流水号发生了改变后，电路原理图也应该相应改变，这可以在 PCB 环境下实现，也可以返回原理图环境实现相应改变。

1）在 PCB 环境中更新原理图的相应流水号，其操作步骤如下。

① 选择“Design”→“Update Schematic”命令，系统将弹出如图 6-94 所示的“Update Design（更新设计）”对话框。

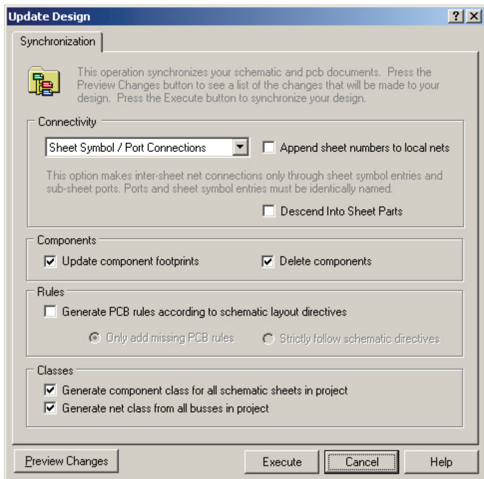


图 6-94　“Update Design”对话框

在该对话框中，用户可以在“Connectivity”下拉列表框中选择原理图的元器件的网络连接方式。“Components”选项组用来设置是否更新元器件的引脚（Update component footprint）或删除元器件（Delete component），也可以不选择删除元器件（Delete component）复选框。“Rules”选项组用来设置是否根据原理图生成 PCB 规则。

② 接着单击“Execute”按钮，系统将弹出如图 6-95 所示的“Confirm component associations”对话框，从图中可以看出存在不匹配的元器件。

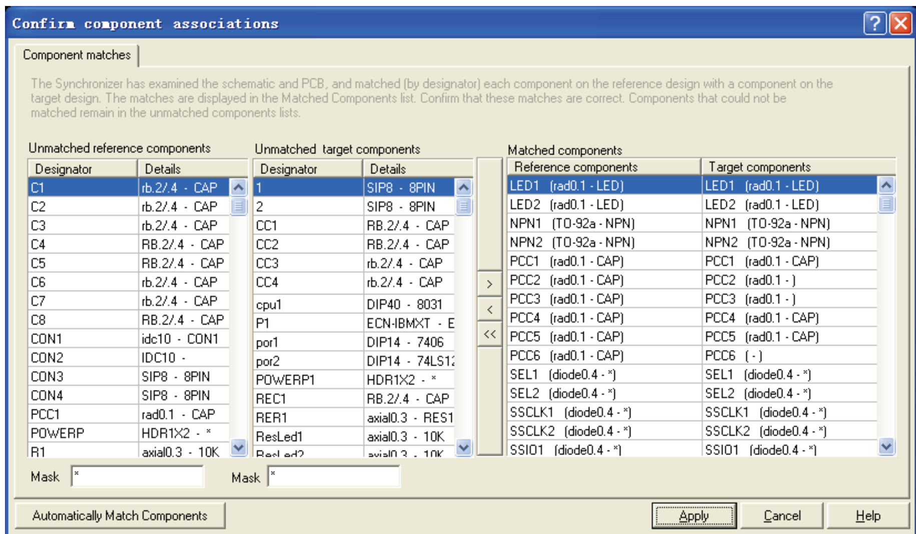


图 6-95　“Confirm component associations”对话框

对于对话框中显示的不匹配的元器件，可以分别在左边的“Unmatched reference components”和“Unmatched target components”列表中选中不匹配元器件，然后单击对话框中的按钮 › ，这些元器件也就可以同样进行匹配操作，最后对话框中的元器件就匹配成功，如图 6-96 所示。

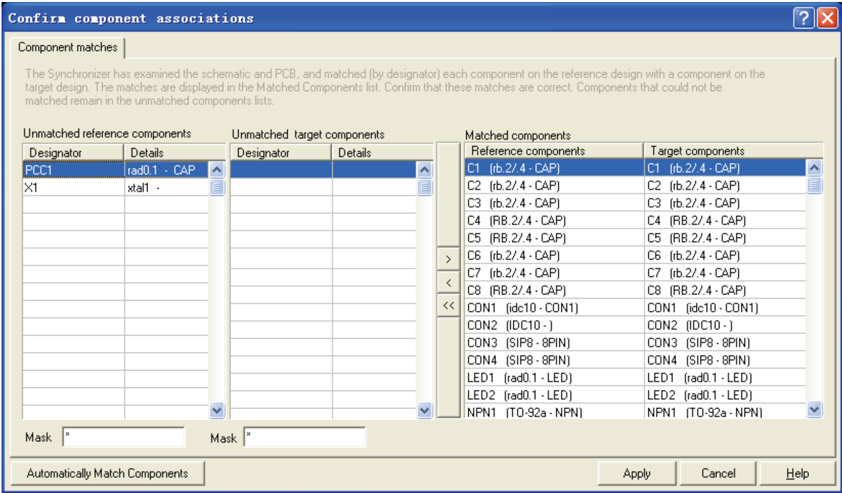


图 6-96 匹配元器件后的对话框

③ 单击“Apply”按钮，系统将会弹出确认提示框，用户可以确定是否应用这些修改到原理图上。

④ 单击“Yes”按钮确认以后，系统将对原理图进行相应的更新。

2）在原理图环境下实现元器件序号相应更新，具体操作步骤如下。

① 首先将生成的 WAS 文件导出保存为一个独立的文件，本例为 8031.WAS。导出方法为在设计管理器中，选择 8031.WAS 文件，然后右击从弹出的快捷菜单中选择“Export”命令，将该文件导出，导出的目标文件为 8031.WAS。

② 打开 8031.Sch 文档，并切换到原理图管理器环境。

③ 选择“Tools”→“Back Annotate”命令将弹出如图 6-97 所示的“Select”对话框。在该对话框中选择前面的 8031.WAS 文件，最后单击“OK”按钮，即可实现对原理图的元器件流水号进行更新。

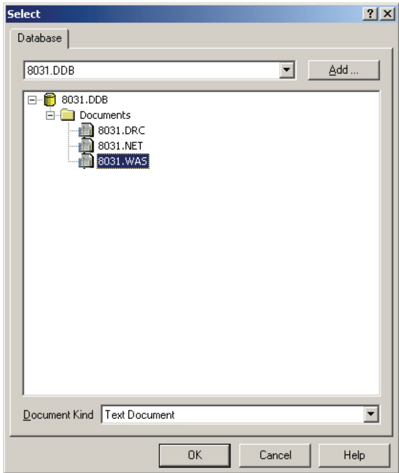


图 6-97 “Select”对话框

6.11 手动交互布线

下面以图 6-98 所示的元器件封装布局为例来讲述手动交互布线方法，文件名为 PWM.pcb。在 PCB 布线时，如果元器件数量很少，连接线不多，那么使用自动布线可以获得较好的效果。但是如果元器件数量较多，

并且连接比较复杂，那么使用自动布线的效果并不好，有时还可能会布不通。此时，一般使用手动交互布线方法。

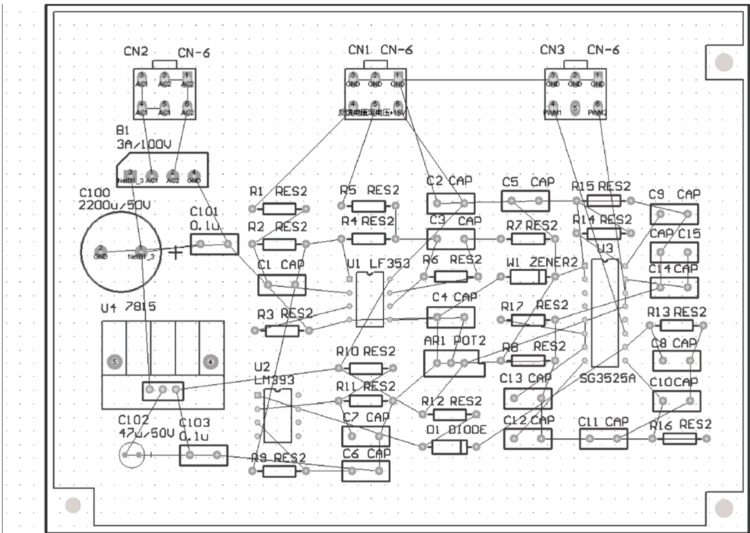


图 6-98 未布线的封装布局

1）首先对电源和接地进行预布线。通常电源和接地需要的线宽比普通导线要宽，因为它们需要承载较大的电流。

选择“Design”→“Rules”命令，然后设置布线的宽度约束（Width Constraint），设置布线宽度为 30mil，然后选择“Auto Route”→“Net”命令，对电源（+15V）和接地（GND）分别进行布线。对电源和接地布线后的元器件封装布局如图 6-99 所示。

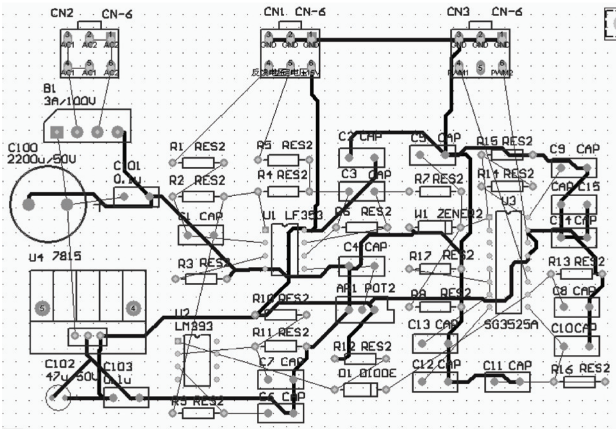


图 6-99 对电源和接地布线后的元器件封装布局

2）选择“Auto Route”→“Setup”命令，从弹出的“Autorouter Setup”对话框（如图 6-73）中选择“Lock All Pre-routes”复选框。

3）选择“Design”→“Rules”命令，然后设置布线的宽度约束（Width Constraint），设置布线宽度为 10mil（普通导线宽度）。

4）选择“Auto Route”→“Net”或其他相应的交互布线命令，对逐条连接线进行布线处理。

5）补泪滴处理。选择“Tools”→“Teardrops”命令，对 PCB 上的焊盘和过孔进行补泪滴设置。补泪滴设置主要是为了提高助焊膜的助焊性能，同时也提高阻焊膜的阻焊性能。设置了补泪滴后并布线后的 PCB 如图 6-100 所示。

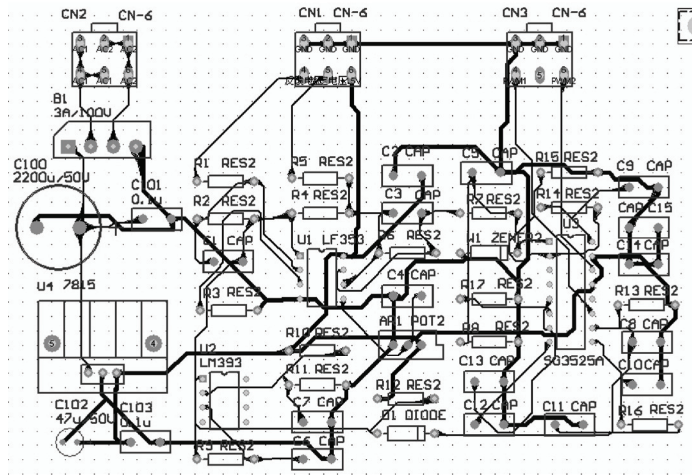


图 6-100　补泪滴并布线后的 PCB

6）选择“Place”→“Polygon Plane”命令进行敷铜处理。通常敷铜时，顶层和底层的敷铜均与“GND”相连，这样可以提高 PCB 的抗干扰能力。在“Connect to Net”下拉列表框中选中“GND”，然后分别选中“Pour Over Same Net（相同的网络连接一起）”和“Remove Dead Copper（去掉死铜）”复选框，在“Layer”下拉列表框中选择“Top Layer”，其他设置项可以取默认值。然后再切换到“Bottom”层进行敷铜处理。敷铜后的 PCB 如图 6-101 所示。

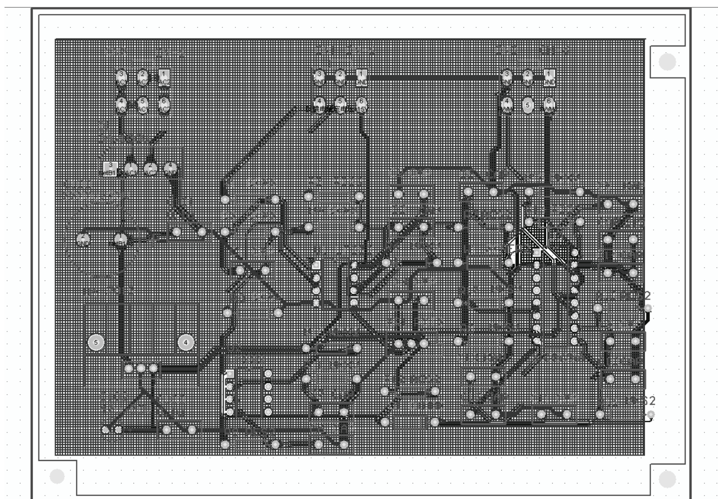


图 6-101　敷铜后的 PCB

6.12　PCB 的三维显示

Protel 99 SE 增加了三维显示功能。使用该功能可以显示清晰的 PCB 的三维立体效果，不用附加高度信息，元器件、丝网、铜箔均可以被隐藏。并且用户可以随意旋转、缩放，改变背景颜色等。PCB 的三维显示可以通过选择“View”→“Board in 3D”命令来实现，如图 6-102 所示即为 PCB 的三维效果图。

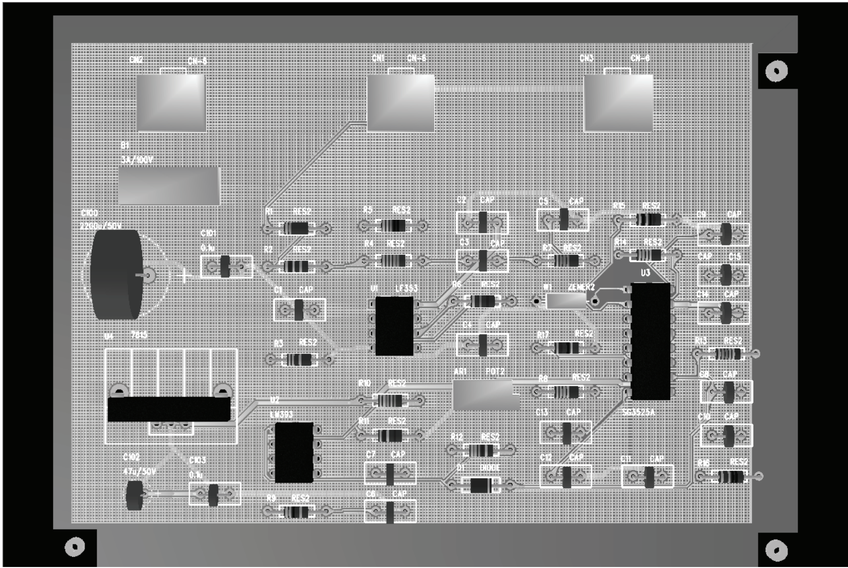


图 6-102　PCB 的三维效果图

6.13　生成 PCB 报表

完成了 PCB 设计后，要得到实际的 PCB，还需要根据设计的 PCB 文件，进行 PCB 加工。通常，需要为制造厂提供一些必需的制造工艺用的报表，比如 NC 钻孔报表、光绘（Gerber）文件、元器件材料表（BOM）等。本节将简单叙述一下如何生成这些报表文件。

6.13.1　NC 钻孔报表

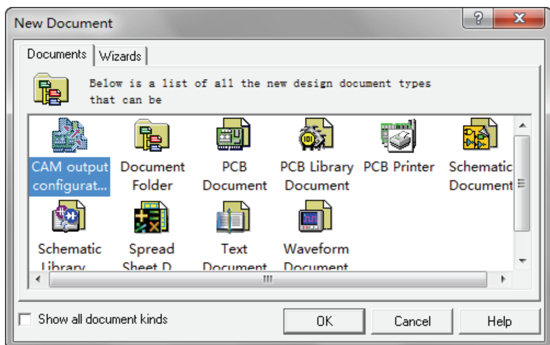
钻孔文件用于提供制作电路板时所需的工艺文档，该文档可直接用于数控钻孔机，生成 NC 钻孔报表的具体操作如下。

1）选择“File”→“New”命令。

2）执行该命令后，系统将弹出如图 6-103 所示的“New Document”对话框，选择“CAM Output Configurate”图标，即生成辅助制造输出文件，然后单击“OK”按钮。

3）系统将弹出如图 6-104 所示的“Choose PCB”对话框，在该对话框中，可以选择需要产生报表的 PCB 文件，然后单击“OK”按钮。

4）系统弹出如图 6-105 所示的“Output Wizard”对话框，然后单击“Next”按钮。



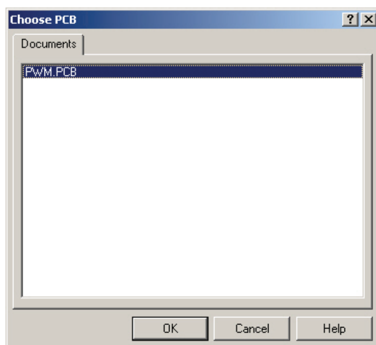
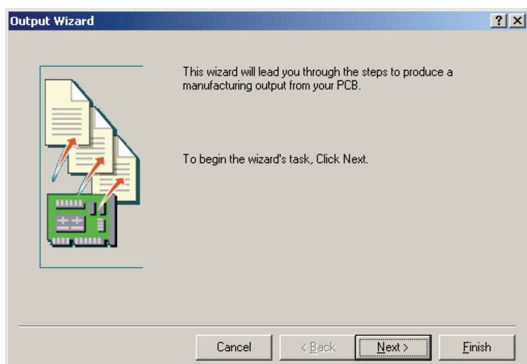


图 6-103 “New Document”对话框　　图 6-104 “Choose PCB”对话框

5）系统将弹出如图 6-106 所示的选择产生文件类型对话框，此时选择“NC Drill”类型，然后单击“Next”按钮。



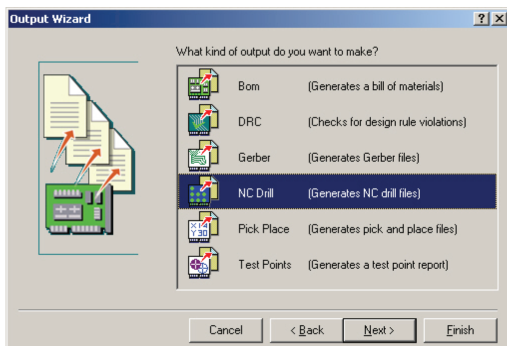
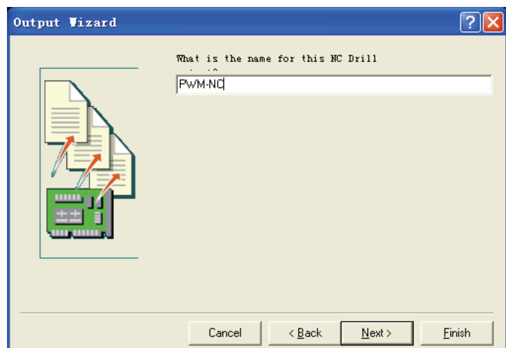


图 6-105 “Output Wizard”对话框　　图 6-106 选择生成文件类型对话框

6）系统弹出如图 6-107 所示的输入报表文件名对话框，此时可输入“NC Drill”的文件名，在此输入“PWM-NC”，然后单击“Next”按钮。

7）系统将弹出如图 6-108 所示的单位设置对话框，可以选择单位（Inches 或 Millimeters），还可以选择单位格式（其中 2:3 格式单位的分辨率为 1mil，2:4 格式单位的分辨率为 0.1mil，2:5 格式单位的分辨率为 0.01mil），然后单击“Next”按钮。



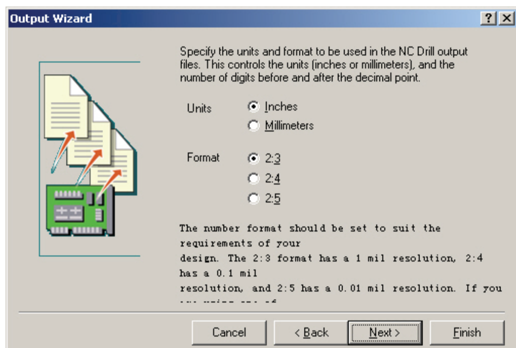


图 6-107 输入报表文件名对话框　　图 6-108 单位设置对话框

8）最后弹出结束对话框，此时单击“Finish”按钮，即可结束产生辅助制造管理器文件，系统默认为 CAMManager1.cam，本实例中创建了一个 PWM-NC 报表，不过此时还不能查看到报表的内容。

9）进入 CAMManager1.cam 文件，然后选择“Tools”→“Generate CAM Files”命令，然后系统将产生 PWM.DRR（在 Cam for PWM 中）数控钻孔报表文件，切换到 PWM.DRR 文件，可以看到本实例的数控钻孔报表如下所示。

```
--------------------------------------------------------------------------
NCDrill File Report For: PWM.PCB      6-Feb-2006      11:22:47
--------------------------------------------------------------------------
Layer Pair : TopLayer to BottomLayer
ASCII File : NCDrillOutput.TXT
EIA File    : NCDrillOutput.DRL
Tool        Hole Size            Hole Count Plated      Tool Travel
--------------------------------------------------------------------------
T1          20mil (0.508mm)          2               7.83 Inch (198.84 mm)
T2          28mil (0.7112mm)         39              22.28 Inch (565.80 mm)
T3          31mil (0.7874mm)         4               9.36 Inch (237.78 mm)
T4          32mil (0.8128mm)         70              31.03 Inch (788.15 mm)
T5          35mil (0.889mm)          3               8.31 Inch (211.16 mm)
T6          55mil (1.397mm)          2               8.71 Inch (221.27 mm)
T7          59mil (1.4986mm)         18              19.04 Inch (483.73 mm)
T8          125mil (3.175mm)         1               7.22 Inch (183.35 mm)
T9          140mil (3.556mm)         2               15.03 Inch (381.86 mm)
--------------------------------------------------------------------------
Totals                               141             128.82 Inch (3271.95 mm)
Total Processing Time : 00:00:00
```

共产生了 3 个文件，即 PWM.TXT、PWM.DRL、PWM.DRR，真正的数控程序以文本文件的方式保存为 PWM.TXT，如图 6-109 所示为显示的数控程序的部分内容。

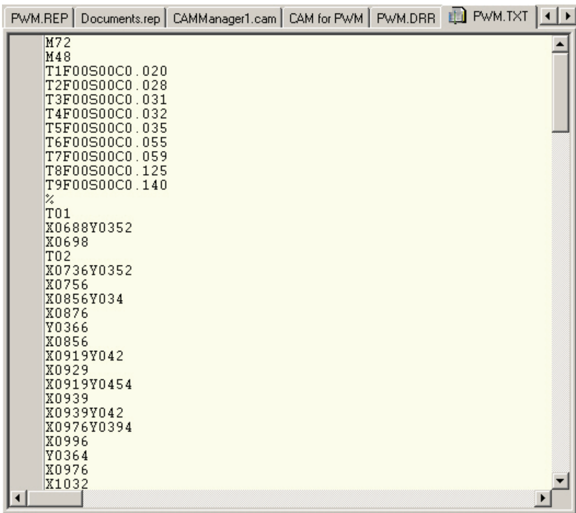


图 6-109　NC 钻孔数控程序

6.13.2 生成元器件清单

元器件报表功能可以用来整理一个电路或一个项目中的元器件，形成一个元器件列表，以供用户查询，生成元器件报表的操作过程如下。

1）同 6.13.1 节的步骤 1）。

2）同 6.13.1 节的步骤 2）。

3）同 6.13.1 节的步骤 3）。

4）同 6.13.1 节的步骤 4）。

5）系统弹出如图 6-106 所示的选择产生文件类型对话框，此时选择“Bom”类型，然后单击“Next”按钮。

6）系统将弹出如图 6-110 所示的输入 BOM 报表名称对话框，本实例中输入的“PWM-Bom”，然后单击“Next”按钮。

7）系统将弹出如图 6-111 所示的文件格式选择对话框。可以选择 BOM 报表的格式，Spreadsheet 为展开的表格式；Text 为文本格式；CSV 为字符串形式。

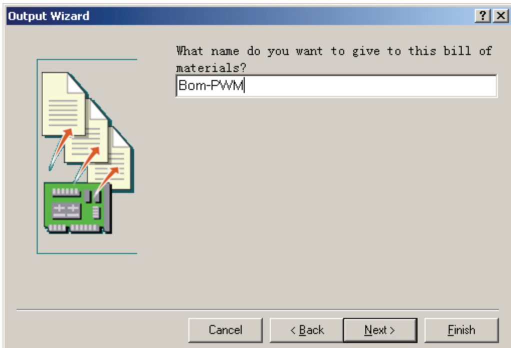


图 6-110　输入 BOM 报表名称对话框

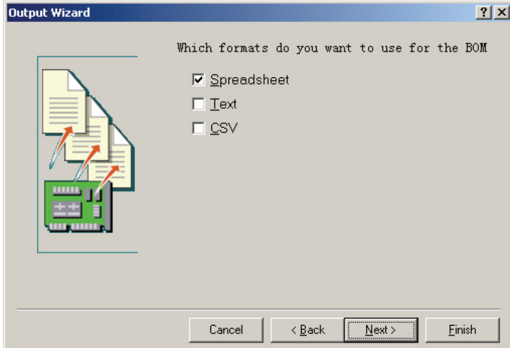


图 6-111　文件格式选择对话框

8）接着单击“Next”按钮，系统将弹出如图 6-112 所示的选择元器件的列表形式对话框。系统提供了如下两种列表形式。

- List：该选项为将当前电路板上所有元器件列表，每一个元器件占一行，所有元器件按顺序向下排列。
- Group：该选项为将当前电路板上的具有相同元器件封装和元器件名称的元器件作为一组，每一组占一行。

9）选择了列表形式后，接着单击“Next”按钮，系统将弹出如图 6-113 所示的选择元器件排序依据对话框。该对话框中“What field do you want to use to sort the components”选项用于选择排序的依据。如选择“Comment”，则用元器件名称来对元器件报表排序；“Check the fields to included in the report”选项用于选择报表所要包含的范围，包括“Designator”“Footprint”和“Comment”3 个复选框。

10）选择了报表包含的范围后，单击“Next”按钮，系统将弹出完成对话框。如果想更改上面某一步，可以单击“Back”按钮返回前面的操作对话框，进行重新设置。

11）最后弹出结束对话框，此时单击“Finish”按钮，即可结束产生辅助制造管理器文

件，系统默认为 CAMManager2.cam，本实例中创建了一个 PWM-BOM 报表，不过此时还不能察看到报表的内容。

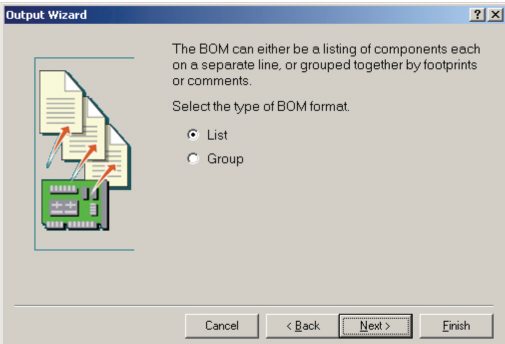


图 6-112　选择元器件的列表形式对话框

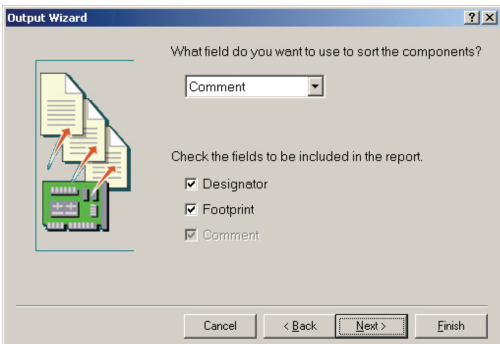


图 6-113　选择元器件排序依据对话框

12）进入 CAMManager2.cam 文件，然后选择“Tools”→“Generate CAM Files”命令，然后系统将产生 BOM for PWM.Bom/txt/Csv 等元器件报表文件，可以看到本实例的元器件报表 BOM for PWM.Bom 如图 6-114 所示（以表格显示）。

A1　Comment

	A	B	C	D	E	F
1	Comment	Footprint	Designators			
2	0.1u	RAD0.2	C101			
3	0.1u	RAD0.2	C103			
4	2200u/50V	RB.3/.6	C100			
5	3A/100V	POWER-4	B1			
6	47u/50V	RB.1/.2	C102			
7	7815	SR78	U4			
8	CAP	RAD0.2	C1			
9	CAP	RAD0.2	C2			
10	CAP	RAD0.2	C3			
11	CAP	RAD0.2	C4			
12	CAP	RAD0.2	C5			
13	CAP	RAD0.2	C6			
14	CAP	RAD0.2	C7			
15	CAP	RAD0.2	C8			
16	CAP	RAD0.2	C9			
17	CAP	RAD0.2	C10			
18	CAP	RAD0.2	C11			
19	CAP	RAD0.2	C12			
20	CAP	RAD0.2	C13			
21	CAP	RAD0.2	C14			
22	CAP	RAD0.2	C15			

Sheet1

图 6-114　元器件报表

另外用户也可以在 BOM for PWM.Txt 文件中查看元器件报表，文本内容如下。

```
Bill Of Material For PWM.PCB
On 10-SEP-2014    at 18:00:22
  Comment                    Pattern        Quantity    Components
--------------------------------------------------------------------------
  0.1u                     RAD0.2              2        C101, C103
  2200u/50V                 RB.3/.6          1        C100
  3A/100V                    POWER-4               1        B1
  47u/50V                   RB.1/.2          1        C102
```

7815	SR78	1	U4
CAP	RAD0.2	15	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15
CN-6	CN6	3	CN1, CN2, CN3
DIODE	DIODE0.4	1	D1
ECN-IBMXT	ECN-IBMXT	1	P1
LF353	DIP8	1	U1
LM393	DIP8	1	U2
POT2	VR5	1	AR1
RES2	AXIAL0.4	16	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R14, R15, R16, R17
RES2	axial0.4	1	R13
SG3525A	DIP16	1	U3
ZENER2	DIODE0.4	1	W1

6.13.3 生成光绘（Gerber）文件

Gerber 文件是用于 PCB 加工工艺的光绘文件。在设计好 PCB 后，通常需要送到 PCB 厂加工，而比较流行的做法是将 PCB 文件转换为 Gerber 文件和钻孔数据后交 PCB 厂。

Gerber 文件是一种国际标准的光绘格式文件，它包含 RS-274-D 和 RS-274-X 两种格式，其中 RS-274-D 称为基本 Gerber 格式，并要同时附带 D 码文件才能完整描述一张图形；RS-274-X 称为扩展 Gerber 格式，它本身包含有 D 码信息。常用的 CAD 软件都能生成此两种格式文件。Protel 99 SE 可以由 PCB 文件生成 Gerber 文件。

由 Protel 99 SE 生成 Gerber 文件后，各文件描述如下（下面扩展名中“T”表示顶层，“B”表示底层）。

- D 码文件，即“*.APT”或“*.APR”文件。
- 线路层为“*.GTL”和“*.GBL”文件。
- 丝印层（字符）为“*.GTO”和“*.GBO”文件。
- 贴片层为“*.GTP”和“*.GBP”。
- 绿油层（阻焊）为“*.GTS”和“*.GBS”文件。
- 边框层为“*.GKO”或“*.GM1”文件。

下面简单讲述一下如何生成 Gerber 文件。

1）首先选择“File”→“New”命令，系统将弹出“New Document”对话框，选择“CAM Output Configure”图标，即生成辅助制造输出文件，然后单击“OK”按钮。参考 6.13.1 节的步骤 1）～5）操作。

2）在如图 6-106 所示的选择生成文件类型对话框中，选择“Gerber”选项，以生成 Gerber 文件。然后单击“Next”按钮，系统会弹出如图 6-115 所示的输入 Gerber 文件名对话框，此时输入“Gerber-File”文件名。

3）单击“Next”按钮，系统弹出如图 6-116 所示的对话框，此对话框描述了 Gerber 文件如何处理孔，并显示其使用的是 RS-274-X 格式的 Gerber 文件。

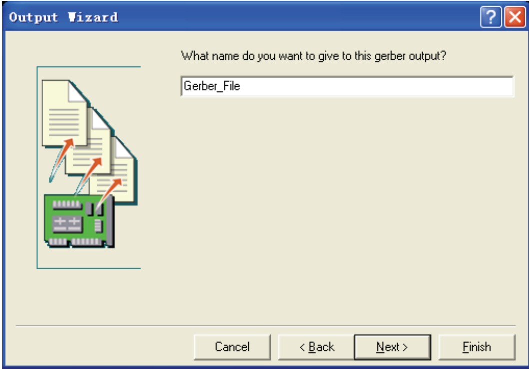


图 6-115　输入 Gerber 文件名

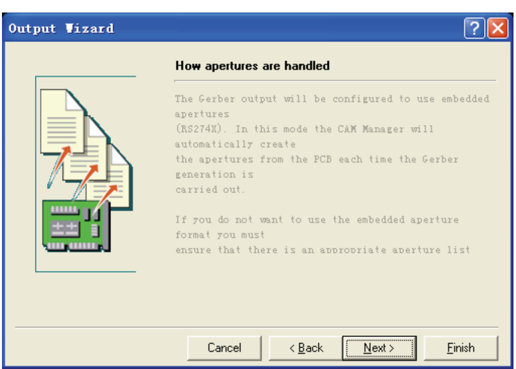


图 6-116　Gerber 文件的描述

4）单击“Next”按钮，系统将弹出如图 6-117 所示的格式设置对话框，可以选择单位（Inches 或 Millimeters），然后还可以选择单位格式（其中 2:3 格式单位的分辨率为 1mil，2:4 格式单位的分辨率为 0.1mil，2:5 格式单位的分辨率为 0.01mil），然后单击“Next”按钮。

5）系统将弹出如图 6-118 所示的指定 Gerber 输出的图层对话框，指定 Gerber 输出的图层。

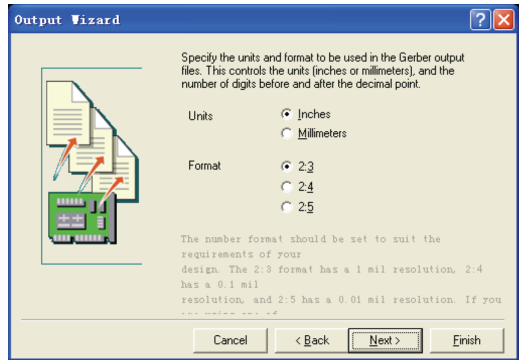


图 6-117　格式设置对话框

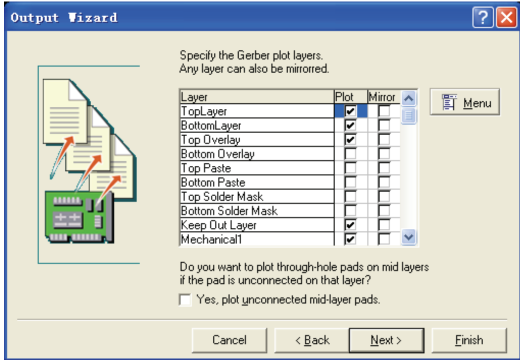


图 6-118　指定 Gerber 输出的图层

6）单击“Next”按钮后，系统将弹出如图 6-119 所示的是否输出钻孔图形 Gerber 文件对话框，指定选择是否输出钻孔图形。如果选择“Yes, generate drill drawing plots”选项，则可以输出具有钻孔图形的 Gerber 文件。

7）单击“Next”按钮后，系统将弹出如图 6-120 所示的是否选择层对对话框，指定是否选择层对，并指定钻孔图形符号的类型和尺寸。

8）单击“Next”按钮后，系统将弹出如图 6-121 所示的是否指定钻孔操作的层对对话框，指定是否选择钻孔操作的层对。

9）单击“Next”按钮后，系统将弹出如图 6-122 所示的是否增加其他层到 Gerber 文件对话框，指定是否增加其他层到输出的 Gerber 文件。

10）最后，单击“Finish”按钮，即可结束产生辅助制造管理器文件，不过此时还不能查看到报表的内容。

11）进入 CAMManager1.cam 文件，选中 Gerber 文件，然后选择“Tools”→“Generate

CAM Files”命令，就可以产生所有必需的文件，产生成的 Gerber 文件列表如图 6-123 所示。

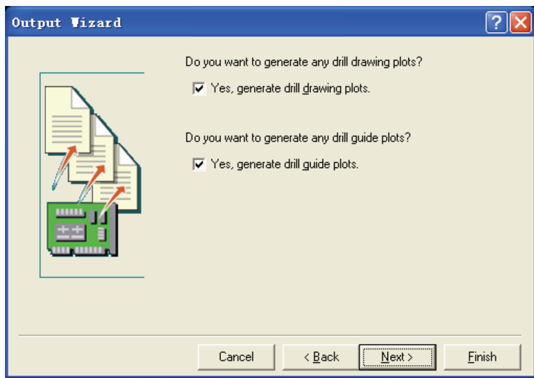


图 6-119　是否输出钻孔图形 Gerber 文件

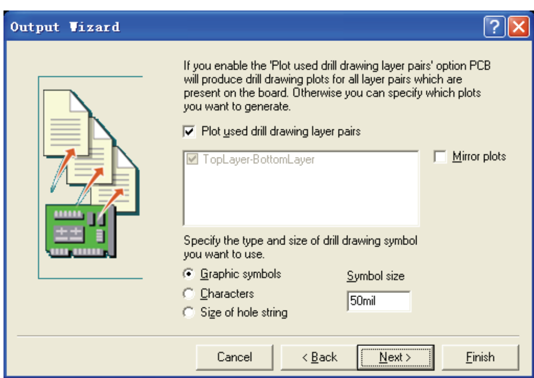


图 6-120　是否选择层对

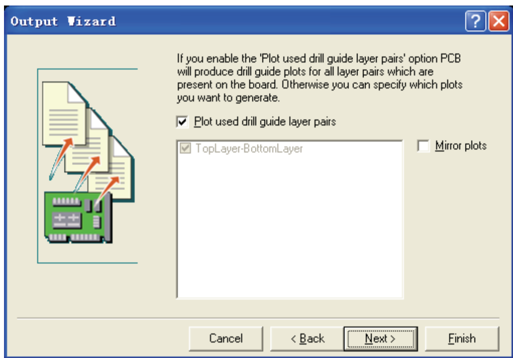


图 6-121　是否指定钻孔操作的层对

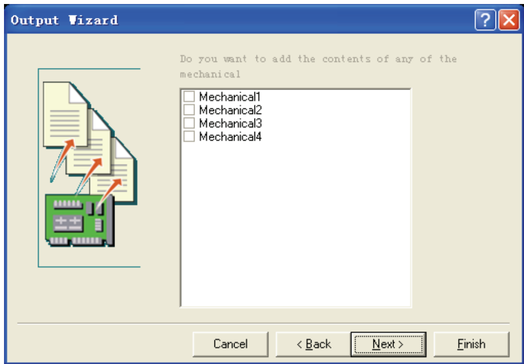


图 6-122　是否增加其他层到 Gerber 文件

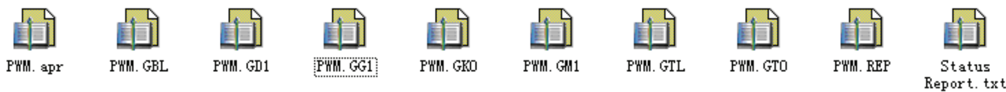


图 6-123　生成的 Gerber 文件列表

6.13.4　生成其他报表文件

1．生成引脚报表

引脚报表能够提供电路板上引脚信息，用户可以选取若干个引脚，通过报表功能生成这些引脚的相关信息，这些信息会生成一个*.DMP 报表文件，这可以让用户比较方便地检验网络上的连线。

可以选择“Reports”→“Selected Pins”命令生成引脚报表。系统会生成引脚报表文件*.DMP。

2．生成电路板信息报表

电路板信息报表的作用在于给用户提供一个电路板的完整信息，包括电路板尺寸、电路

板上的焊点、导孔的数量以及电路板上的元器件标号等，下面讲述如何生成电路板信息报表。

1）选择“Reports”→“Board Information”命令生成电路板信息报表。执行此命令后，系统会弹出如图 6-124 所示的“PCB Information”对话框。

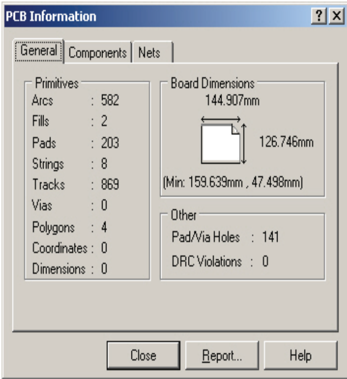


图 6-124 “PCB Information”对话框

图 6-124 所示的对话框中包括 3 个选项卡，分别说明如下。

- “General”选项卡：主要用于显示电路板的一般信息，如电路板大小，电路板上各个组件的数量，如导线数、焊点数、导孔数、敷铜数、违反设计规则的数量等。
- “Components”选项卡：用于显示当前电路板上使用的元器件序号以及元器件所在的层等信息，如图 6-125 所示。
- “Nets”选项卡：用于显示当前电路板中的网络信息，如图 6-126 所示。

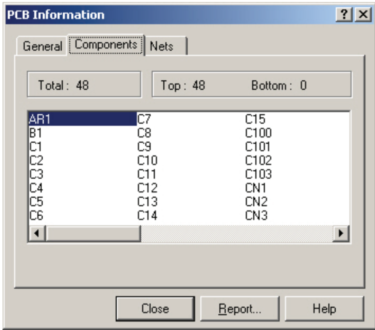


图 6-125 “Components”选项卡

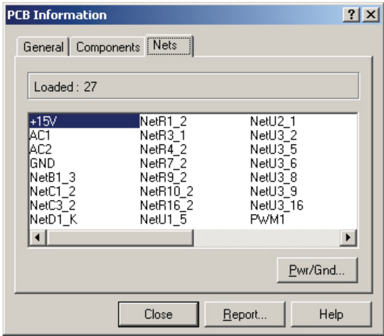


图 6-126 “Nets”选项卡

如果单击“Nets”选项卡中的“Pwr/Gnd”按钮，系统会弹出如图 6-127 所示的“Internal Plane Informatlon”对话框。“Internal Plane Informatlon”对话框列出了各个内部层所接的网络、导孔和焊点以及导孔或焊点和内部层间的连接方式。

如果电路板没有内部层网络，则在图 6-127 所示对话框中不会显示层信息，也没有内部层网络。

2）单击图 6-124 所示对话框中的“Report”按钮，系统将弹出如图 6-128 所示的“Board Report”对话框，用户可以选择需要产生报表的项目，选中各项目的复选框即可。用户也可以单击“All On”按钮，选择所有项目；或者单击“All Off”按钮，不选择任何项目。另外用户也可以选中“Selected Objects”复选框，只产生所选中对象的板信息报表。

3）可以在任何一个选项卡中单击“Report”按钮，将电路板信息生成相应的报表文件，生成的文件为*.REP。

3．生成网络状态报表

网络状态报表用于列出电路板中每一条网络的长度。生成网络状态报表可以选择“Reports”→“Netlist Status”命令，系统将打开文本编辑器，产生相应的网络状态报表。生

成网络状态报表的文件为*.Rep。

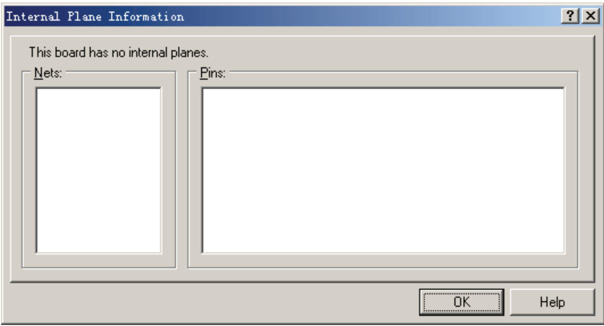


图 6-127 “Internal Plane Informatlon”对话框

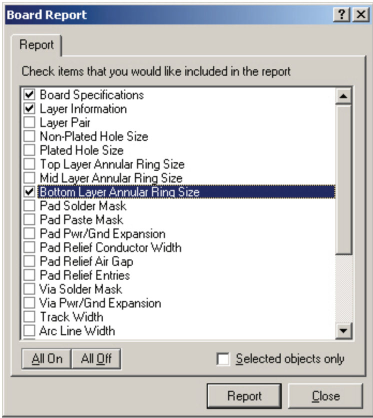


图 6-128 “Board Report”对话框

4．生成设计层次报表

Protel 99 SE 可生成有关 PCB 文件层次的报表，该报表指出了文件系统的构成。生成设计层次报表的具体操作过程如下。

1）选择“Reports”→“Design Hierarchy”命令。

2）执行命令后，系统将切换到文本编辑器，在其中产生 PCB 文件相应的设计层次报表。下面即为本实例生成的设计层次报表，文件为*.Rep。

5．生成电路特性报表

Protel 99 SE 提供了生成电路特性报表的命令。电路特性报表用于提供一些有关元器件的电特性资料，生成电路特性报表的操作方法如下。

1）选择“Reports”→“Signal Integrity”命令。

2）执行该命令后，系统将切换到文本编辑器，并在其中产生电路特性报表，文件为*.SIG。

习题

1．简述补泪滴在设计 PCB 时的重要作用。

2．简述单面板、双面板和多面板的不同，以及布局和布线时的注意事项。

3．简述网络连接的电气意义，如何在已有的 PCB 上添加网络连接。

4．简述从装载网络表到生成 PCB 的操作过程。

第 7 章　PCB 信号完整性分析

如今的 PCB 设计日趋复杂，高频时钟和快速开关逻辑意味着 PCB 设计已不止是放置元器件和布通连线。网络阻抗、传输延迟、信号质量、反射、串扰和 EMC（电磁兼容）是每个设计者必须考虑的因素，因而进行制板前的信号完整性分析更加重要。本章主要讲述如何使用 Protel 99 SE 进行 PCB 信号完整性分析。

7.1　设置信号完整性分析规则

Protel 中包含了许多的信号完整性分析规则，这些规则用于在 PCB 设计中检测一些潜在的信号完整性问题。整个的信号完整性分析是基于布好线的 PCB，图 7-1 是一块已经制好的 PCB。下面以该 PCB 为例进行信号完整性分析讲解。

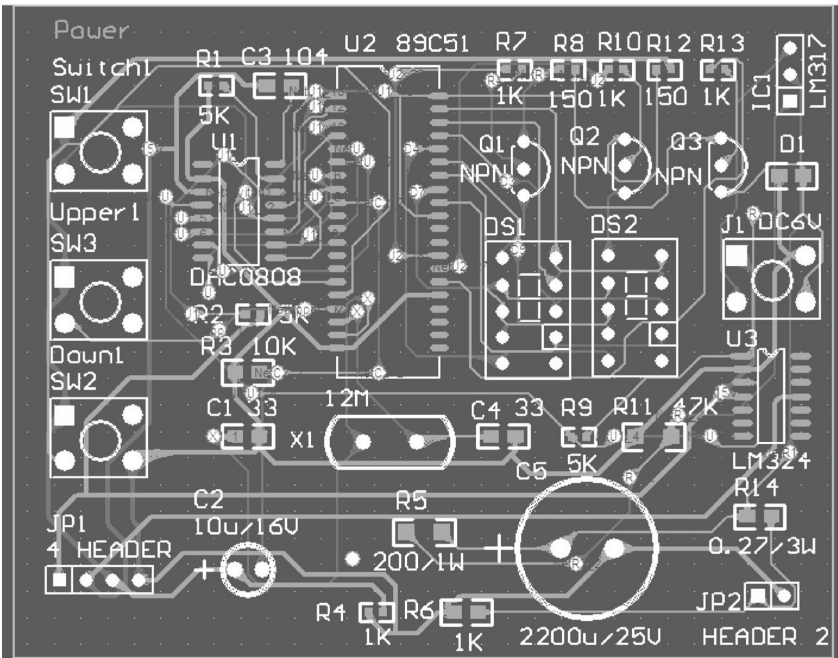


图 7-1　设计好的 PCB

选择“Design”→“Rules”命令设置信号完整性规则，然后系统将弹出如图 7-2 所示的“Design Rules”对话框。在该对话框的“Signal Integrity”选项卡中，可以设置信号完整性分析的规则。

Protel 99 SE 信号完整性分析主要包括如下 14 条规则。

1．飞升时间的下降边沿

飞升时间的下降边沿（Flight Time-Falling Edge）是相互连接结构的输入信号延迟，如图 7-3 所示。它是实际的输入电压到门限电压之间的时间，小于这个时间将驱动一个基准负载，该负载直接与输出相连。这条规则定义了信号下降边沿的最大允许飞升时间。

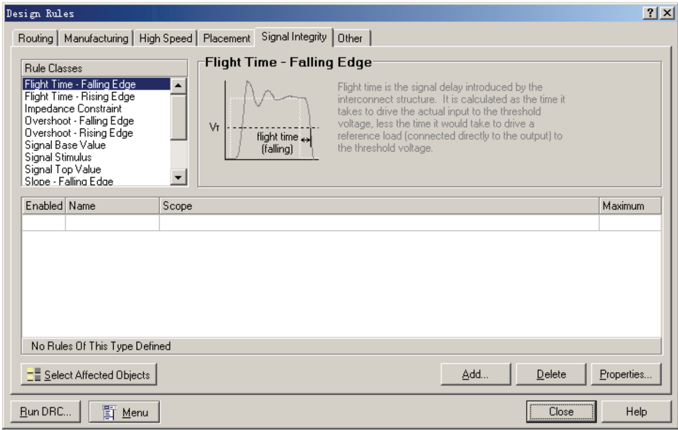
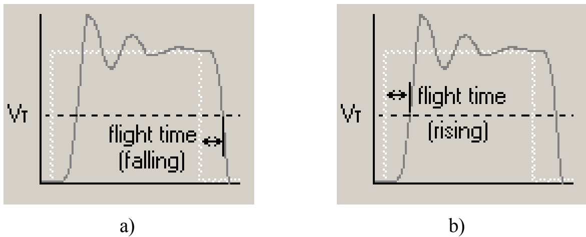


图 7-2 “Design Rules”对话框



a) b)

图 7-3 信号飞升时间下降边沿和上升边沿示意图

a) 下降边沿 b) 上升边沿

单击“Add”按钮，添加此规则的定义。飞升时间的下降边沿的定义对话框如图 7-4 所示。该对话框中的“Maximum”文本框定义下降边沿的最大允许飞升时间，单位一般为 ns。

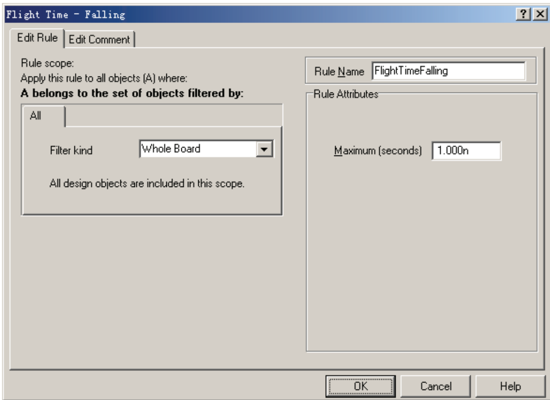


图 7-4 “Flight Time-Falling”对话框

在该对话框的左边定义了此规则的适用范围，如图 7-5 所示。

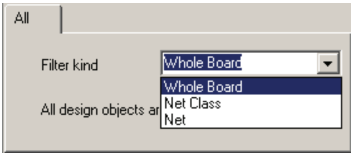


图 7-5　此规则适用范围

2．飞升时间的上升边沿

这条规则定义了信号上升边沿的最大允许飞升时间。信号飞升时间上升边沿（Flight Time-Rising Edge）的定义如图 7-3 所示。

关于飞升时间的上升边沿的定义对话框和图 7-4 类似。

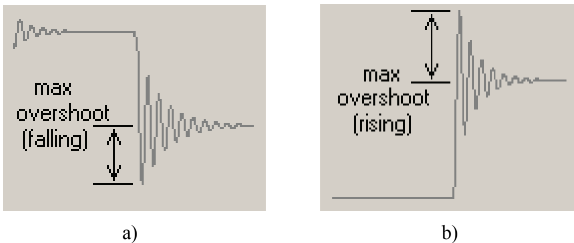
3．阻抗约束

阻抗约束（Impedance Constraint）定义了所允许的电阻的最大和最小值。阻抗和导体几何外观和电导率，导体外的绝缘层材料以及板的几何物理分布，即导体间在 Z 域的距离相关。上述的绝缘层材料包括板的基本材料，多层间的绝缘层以及焊接材料等。

“阻抗约束规则定义”对话框与如图 7-4 所示对话框类似。在对话框的文本框中，可以定义阻抗的最大和最小值。

4．信号过冲的下降边沿

信号过冲的下降边沿（Overshoot-Falling Edge）定义信号下降沿允许的最大过冲值。图 7-6 直观地表示了信号过冲的下降沿和上升边沿。



a)　　b)

图 7-6　信号过冲的下降边沿和上升边沿示意图

a) 下降边沿　b) 上升边沿

信号下降边沿最大过冲值设置对话框和图 7-4 类似。可以在“Maximum（Volts）”文本框中设置信号完整性分析中最大过冲值。

5．信号过冲的上升边沿

该规则定义信号上升沿允许（Overshoot-Rising Edge）的最大过冲值。信号上升沿最大过冲值设置对话框和图 7-4 类似。

6．信号基值

信号基值（Signal Basic Value）是信号在低状态时的最小电压，示意图如图 7-7 所示。该规则定义了允许的最大的基值。信号基值设置对话框和图 7-4 类似。

可以在“Maximum（Volts）”文本框中设置信号完整性分析中最大信号基值。

7．激励信号（Signal Stimulus）

激励信号（Signal Stimulus）定义在信号完整性分析中使用的激励信号的特性，示意图如图 7-8 所示。

“Signal Stimulus（激励信号属性）”对话框如图 7-9 所示。通过该对话框，可以定义所使用的激励信号的属性。如信号采用单个脉冲，抑或是采用周期性脉冲信号；该信号起始于

高电平，抑或是低电平；该信号的起始时间、终止时间和周期等。

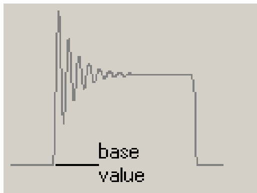


图 7-7　信号基值示意图

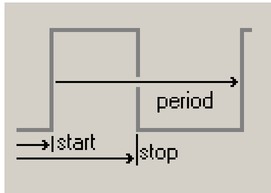


图 7-8　激励信号示意图

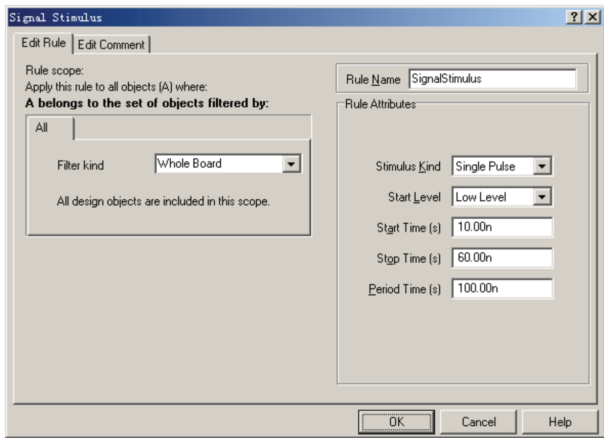


图 7-9　“Signal Stimulus”对话框

8．信号高电平

信号高电平（Signal Top Value）定义信号在高电平状态时的电压值，如图 7-10 所示。使用这个规则可定义此电压值的最小值。

“信号高电平属性”对话框和图 7-4 类似。可以在“Minimum（Volts）”文本框中设置信号完整性分析中信号高电平的最小值。

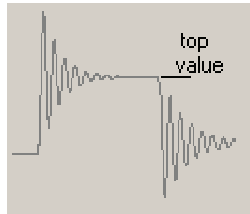


图 7-10　信号高电平状态电压值示意图

9．下降边沿斜率

下降边沿斜率（Slope-Falling Edge）是信号从门限电压 VT 下降到一有效低电平时的时间，如图 7-11 所示。这条规则定义了允许的最大的时间。定义下降边沿斜率对话框和图 7-4 类似。

可以在“Maximum（Seconds）”文本框中设置信号完整性分析中下降边沿斜率允许的最大时间。

10．上升边沿斜率

上升边沿斜率（Slope-Rising Edge）是信号从门限电压 VT 上升到一有效高电平时的时间，如图 7-12 所示，这条规则定义了允许的最大时间。

上升边沿斜率设置对话框和图 7-4 类似。

11．供电网络标号

供电网络标号（Supply Nets）用来定义板上的供电网络标号。信号完整性分析器需要了解供电网络标号的名称和电压。供电网络标号设置对话框和图 7-4 类似。

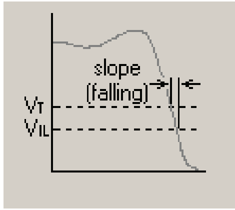


图 7-11　下降边沿斜率示意图

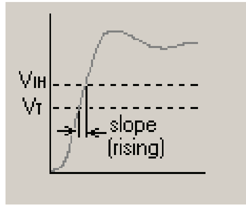


图 7-12　上升边沿斜率示意图

可以在网络名称栏内选择欲加入的网络名称，在电压设置栏设置该网络标号所对应的电压值。

12．信号下冲的下降边沿

信号下冲的下降边沿（Undershoot-Falling Edge）定义在信号的下降沿所允许的最大下冲值，如图 7-13 所示。

下降边沿的最大下冲值设置对话框和图 7-4 类似。

13．信号下冲的上升边沿

信号下冲的上升边沿（Undershoot-Rising Edge）定义在信号的上升沿所允许的最大下冲值，如图 7-14 所示。信号下冲的上升边沿的最大下冲值的设置对话框和图 7-4 类似。

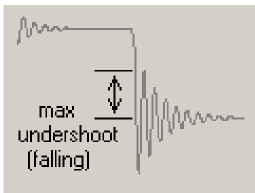


图 7-13　信号下冲下降边沿示意图

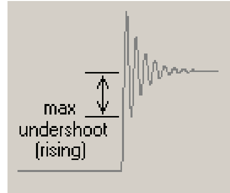


图 7-14　信号下冲上升边沿示意图

通过以上的设置完成了信号完整性分析的规则配置。在以后的完整性分析中将使用到这些规则。

14．层堆栈

层堆栈（Layer Stack）定义信号完整性分析的层体及每层的物理属性。设置层堆栈可以通过执行“Layer Stack Manager”命令来实现。执行该命令后，系统将弹出如图 7-15 所示的“Layer Stack Manager”对话框，在该对话框中，可以设置层参数，以及层的顺序。

在图 7-15 所示的对话框中，单击“Add Layer”按钮可以添加中间信号层；单击“Add Plane”按钮可添加内层电源/接地层，不过添加信号层前，应该首先确定信号层的添加位置，然后再设置。

- 如果选中“Top Dielectric”复选框则在顶层添加绝缘层；如果选中“Bottom Dielectric”复选框则在底层添加绝缘层。
- 如果需要设置板绝缘层的属性，则可以先在 Core 处单击，然后单击“Properties”按钮，系统将弹出如图 7-16 所示的“Dielectric Properties（绝缘层属性）”对话框，此时可以设置板绝缘层属性。系统默认的板中心层绝缘体的材料为 FR4，厚度为 12.6mil，绝缘常数为 4.8。

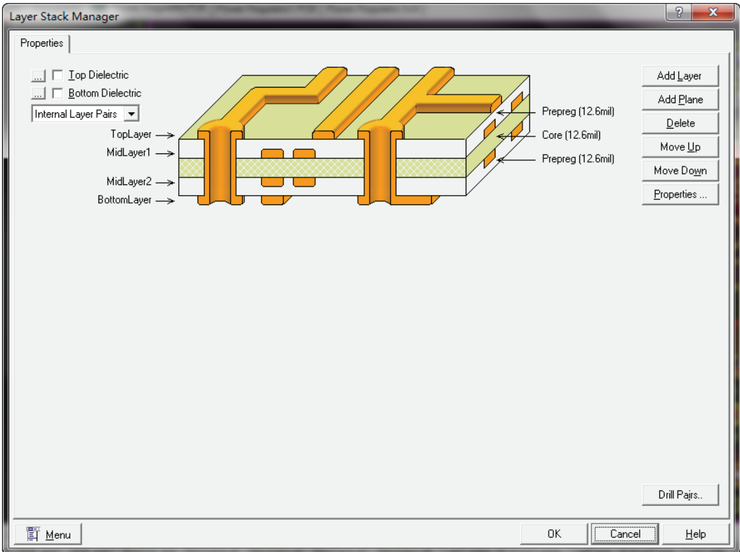


图 7-15 “Layer Stack Manager”对话框

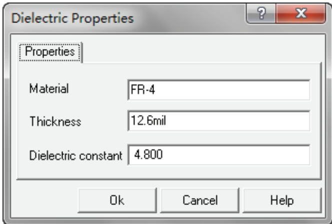


图 7-16 “Dielectric Properties”对话框

● 如果用户想重新排列中间的信号层，可以使用“Move Up”和“Move Down”按钮来操作。
● 如果用户需要设置某信号层的厚度，则可以选中该层，然后单击“Properties”按钮，系统将弹出如图 7-17 所示的“Edit Layer（信号层属性）”对话框设置信号层的厚度和层名。
● 如果用户想设置焊接属性，则可以分别单击“Top Dielectric”或“Bottom Dielectric”左边的按钮[...]，系统会弹出如图 7-18 所示的“Dielectric Properties”对话框，此时刻分别设置顶层或底层的焊接绝缘属性。

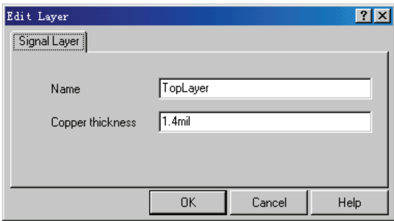


图 7-17 “Edit Layer”对话框

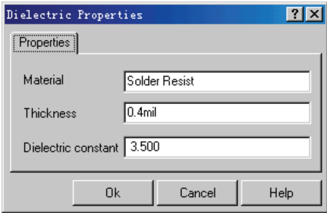


图 7-18 “Dielectric Properties”对话框

用户还可以使用图 7-15 所示对话框中“Menu”菜单来进行各种操作，该菜单可单击“Menu”按钮弹出，如图 7-19 所示。

● Example Layer Stacks：有下拉子菜单，各命令用来以模板实例设置 PCB 堆栈，不过这些命令只能在已有层没有被使用时有效。
● Add Signal Layer：添加信号层命令。
● Add Internal Plane：添加内层电源/接地层命令。

● Delete：删除某一板层。
● Move Up/Down：设置层顺序。
● Copy to Clipboard：复制层信息到剪贴板，可以进行粘贴相关信息。
● Properties：编辑层属性。

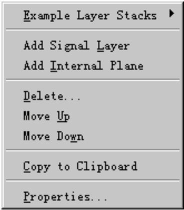


图 7-19 “层堆栈操作”菜单

7.2 PCB 的 DRC 检查

设置好信号完整性分析的规则后，在进行 PCB 的 DRC 检查前，需定义每个元器件的元器件类型。信号完整性分析器需要这些信息。

1）定义一个元器件类型，选择“Tools”→“Preferences”命令，系统将弹出如图 7-20 所示的“Preferences”对话框。通过这个对话框可以设置元器件标号和元器件类型之间的对应关系。

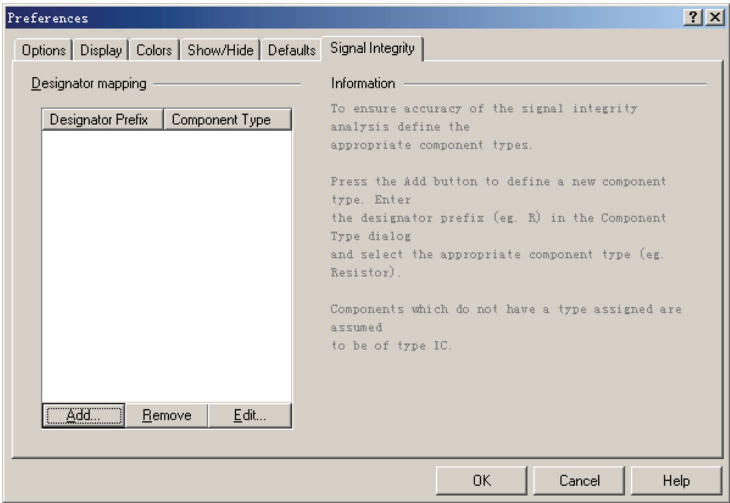


图 7-20 “Preferences”对话框

单击“Add”按钮，将弹出如图 7-21 所示的“Component Type”对话框。在该对话框中，输入所用的元器件标号，选择如图 7-22 所对应的元器件类型。

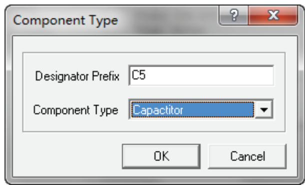


图 7-21 “Component Type”对话框

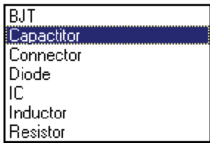


图 7-22 “元器件类型”下拉列表框

在此添加了设计中用到的元器件标号后，下一步就可以进行 PCB 的 DRC 检查。

2）在“Tools”菜单项中，选择“Design Rule Check”选项，启动 DRC 检查。启动

DRC 检查的另外一种方法就是在设置信号完整性分析规则的对话框中单击“Run DRC”按钮。上述两种方式都将弹出“Design Rule Check”对话框，如图 7-23 所示。

在此对话框中，单击“Signal Integrity”按钮，然后可以设置在 DRC 检查中包括的信号完整性分析的项，如图 7-24 所示。这些检测项一次不宜太多，否则将占用大量运行时间。

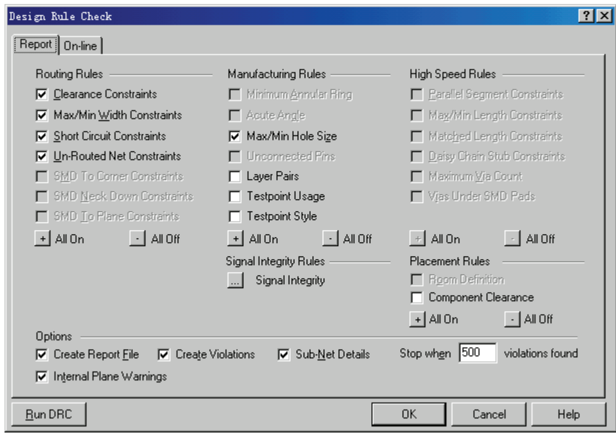


图 7-23 “Design Rule Check”对话框

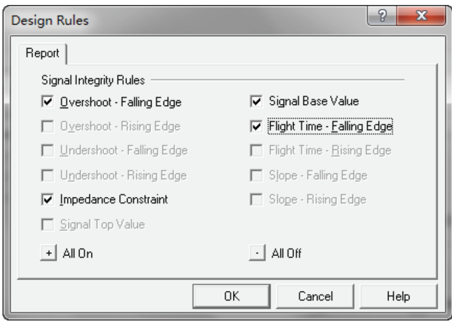
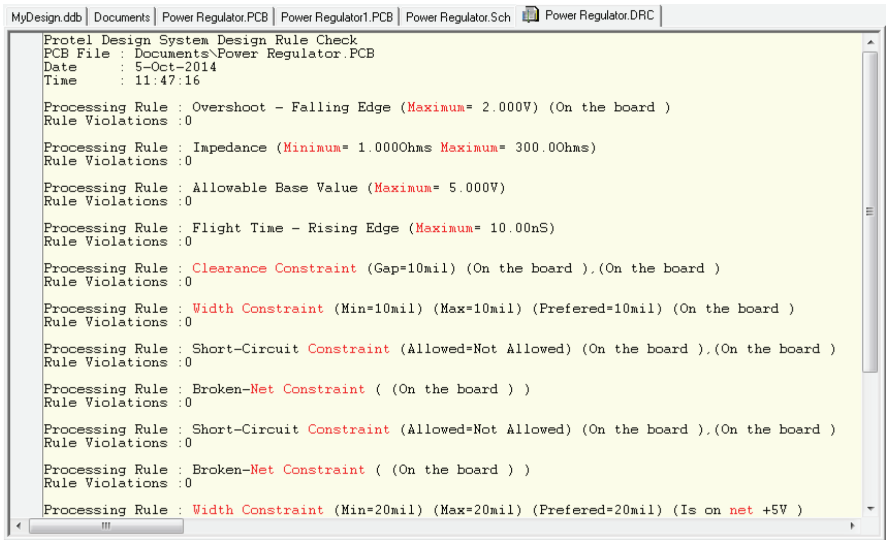


图 7-24 “Design Rules”对话框

注意：图 7-24 所示的信号完整性规则是否有效，依赖于前面是否添加了该信号完整性分析项（参考 7.3 节）。

3）设置了信号完整性分析项后，单击“OK”按钮，返回到图 7-23 所示的对话框，然后单击“Run DRC”按钮，运行 DRC 检查。

分析器将生成 Filename.drc 文件，详细列出了设计的板图和定义的规则之间的差异，如图 7-25 所示。通过此文件，可以更深入了解所设计的 PCB 图。




```
Protel Design System Design Rule Check
PCB File : Documents\Power Regulator.PCB
Date     : 5-Oct-2014
Time     : 11:47:16

Processing Rule : Overshoot - Falling Edge (Maximum= 2.000V) (On the board )
Rule Violations :0

Processing Rule : Impedance (Minimum= 1.000Ohms Maximum= 300.0Ohms)
Rule Violations :0

Processing Rule : Allowable Base Value (Maximum= 5.000V)
Rule Violations :0

Processing Rule : Flight Time - Rising Edge (Maximum= 10.00nS)
Rule Violations :0

Processing Rule : Clearance Constraint (Gap=10mil) (On the board ),(On the board )
Rule Violations :0

Processing Rule : Width Constraint (Min=10mil) (Max=10mil) (Prefered=10mil) (On the board )
Rule Violations :0

Processing Rule : Short-Circuit Constraint (Allowed=Not Allowed) (On the board ),(On the board )
Rule Violations :0

Processing Rule : Broken-Net Constraint ( (On the board ) )
Rule Violations :0

Processing Rule : Short-Circuit Constraint (Allowed=Not Allowed) (On the board ),(On the board )
Rule Violations :0

Processing Rule : Broken-Net Constraint ( (On the board ) )
Rule Violations :0

Processing Rule : Width Constraint (Min=20mil) (Max=20mil) (Prefered=20mil) (Is on net +5V )
```

图 7-25 分析器生成的“*.drc”文件

通过运行 DRC，可以快速定位不符合设计需求的网络。然后，在此基础上，运行一个反射或串扰分析，待产生波形后，直接从波形上测量，就可以检查到采用不同终止选项和逻辑系列的对比效果。

7.3 内部完整性仿真器

信号完整性问题不仅仅是出现在高速时钟频率设计中。信号完整性问题是从器件输出的边缘频率（上升/下降时间）就开始考虑了，而不只是考虑元器件的时钟速度。用 1ns 上升时间的器件进行设计时，对于 2MHz 或 200MHz 的时钟频率会产生同样的信号完整性问题。传输延时、网络干扰、信号反射和串扰不再仅局限于高频设计的特殊要求了。

元器件制造商总是努力制造出更快更小的元器件，结果造成了元器件边缘率的上升，随着低速逻辑器件正从厂商的库存中消失，在不远的将来，所有的设计人员将不得不在设计和布线时考虑信号完整性分析。对设计者来说，在制板前进行信号完整性问题的检测是非常重要和必要的。

Protel 99 SE 中包括了一个高级信号完整性仿真器，它能精确地模拟分析已布好线的 PCB。而测试网络阻抗、下冲、上冲、过冲、信号斜率和信号水平的设置与 PCB 设计规则一样容易实现。

信号完整性仿真器使用典型的线阻抗、传输线的计算和 I/O 缓冲器模型信息，作为仿真的输入。它是基于一个快速反射和串扰的仿真器，是经工业标准证明能生成精确结果的仿真器。

在 Protel 99 SE 中，可通过选择“Tools”→“Signal Integrity”命令来启动内部完整性仿真器。内部信号完整性仿真器界面如图 7-26 所示。

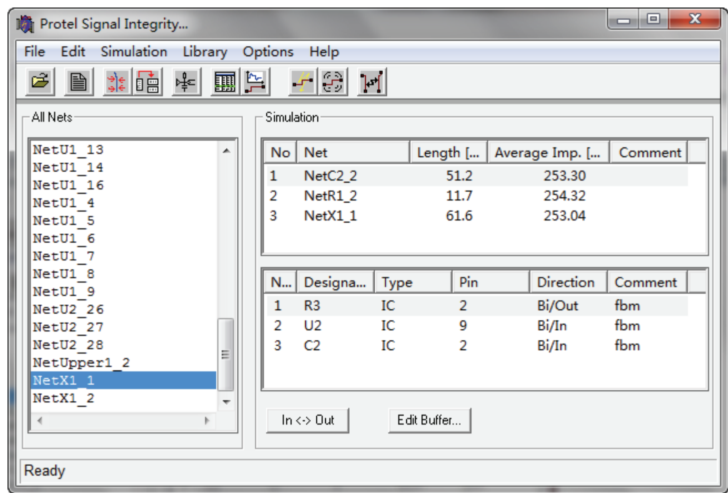


图 7-26 内部信号完整性仿真器界面

使用这个信号完整性仿真器就可以对所设计的 PCB 进行仿真。下面将对该仿真器进行简单的介绍。

7.3.1 File 菜单

仿真器中的“File”菜单项的子命令功能如下。

1）“Open”命令：该命令使用标准的 Windows 对话框打开一个已存在的 SULTAN 文件，默认的文件扩展名为“slt”。

2）“Reports”命令：该命令允许用户定义输出选项后，输出报告文件。这些选项将被保存，并作为下次调用的默认选项。执行该命令后，系统将弹出如图 7-27 所示的“File Report”对话框。

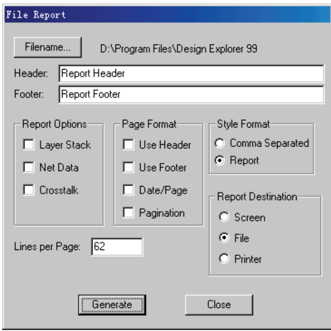


图 7-27 “File Report”对话框

在“Report Options”选项组中的“Layer Stack”选项用于列出每一层的几何和电气特性，对应的报告文件扩展名为“lay”；“Net Data”用于列出网络标号的阻抗等等的信息，对应的报告文件扩展名为“net”；“Crosstalk”选项用于列出板上的相互干扰的网络标号，对应的报告文件扩展名为“xtk”。

在“Style Format”选项组中一般选择“Report”，这种格式便于阅读。

7.3.2 Edit 菜单

仿真器中的“Edit”菜单的各命令如下。

1）“Take Over”命令：该命令将和运行的 PCB 文件相连，从而获得所选择标号的所有布局数据，并显示在主窗口的仿真栏内，也可以单击按钮激活该命令。

2）“Find Coupled Nets”命令：该命令用来查找相互连接的网络，也可以单击按钮激活该命令。

3）“Layer Stack”命令：该命令允许设计者定义层。为获得正确的传输线的计算，必须定义层的有关参数。PCB 并不支持直接的层定义，因而在每次仿真前都必须修改层的参数，如图 7-28 所示。

4）“Components”命令：该命令用于察看元器件的类别，执行该命令后，系统将弹出如图 7-29 所示的“Edit Component”对话框。

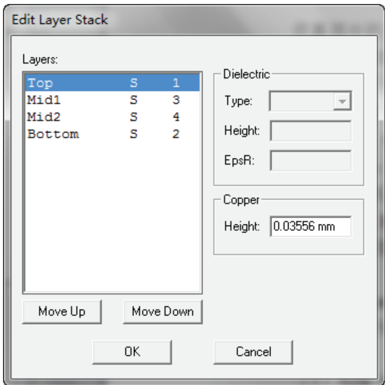


图 7-28 “Edit Layer Stack”对话框

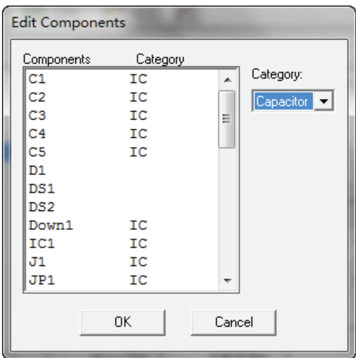


图 7-29 “Edit Component”对话框

5）“Nets”命令：该命令用来设置网络的类别和应用的值。在信号完整性分析时，用户可以编辑设置网络的种类和电压值，通过该命令就可以实现。执行该命令后，系统将弹出如图 7-30 所示的“Edit Nets”对话框，在该对话框可以进行设置。

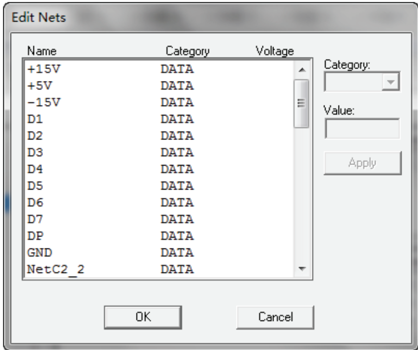


图 7-30 “Edit Nets”对话框

7.3.3 Simulation 菜单

“Simulation”菜单的各项命令功能如下。

1）“Termination Advisor”（终止建议）：执行该命令后，系统将弹出如图 7-31 所示的“Termination Advisor”对话框，通过该对话框可定义终止条件，也可以单击按钮激活该命令。默认情况下，没有终止条件。该选项对反射或串扰分析有效，对“Screening”模式无效。

在仿真器中有如下的 7 种终止模型可供选择。

- Serial R：串阻输出驱动器的串阻在点对点的连接中是一个非常有效的终止技巧。这将减少外来的电压波形的幅值。正确的终止线将消除接收器的过冲现象。

图 7-32 所示的模式中，R1=ZL-Rout。Rout 是缓冲器的输出电阻。

- Parallel R to VCC：电源 VCC 端并联电阻，如图 7-33 所示。电源 VCC 接收输入端并联的电阻是和传输线阻抗相匹配的。对于线路信号反射，这是一种比较完美的终止条件，但也将不断有电流流过这个电阻，这增加了电源的消耗，将导致低电压电平的升高，该幅值将根据电阻值的不同而变化，将有可能超出在数据区定义的操作条件。

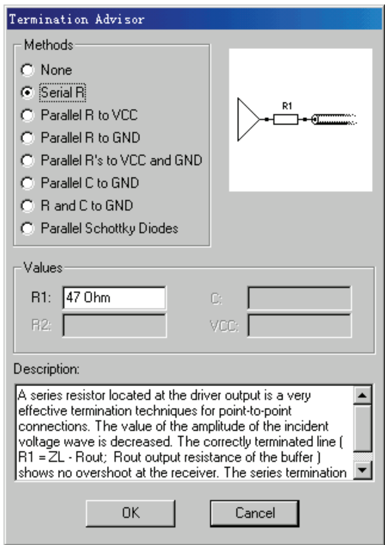


图 7-31 “Termination Advisor”对话框

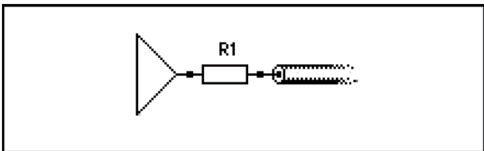


图 7-32 终止模式的串阻模型

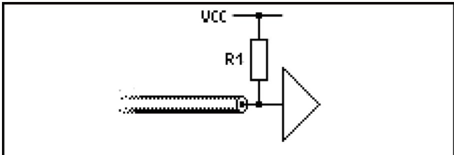


图 7-33 电源 VCC 端并联电阻的终止模式

- Parallel R to GND：地端并联电阻，如图 7-34 所示。并联在地输入接收端的电阻将和传输线阻抗相匹配。和电源端并联电阻一样，这也是一种终止线路信号反射的方法。

同样将增大电源消耗，也将导致高电平电压的减小。

● Parallel R′s to VCC and GND：地和电源端都并联电阻，如图 7-35 所示。此种类型的终止条件，对于 TTL 总线系统是可以接受的。这种方式的最大缺点是：将有一比较大的直流电流通过电阻。为了避免和所定义的数据相违背，这两电阻的电阻值应当小心分配。大多数情况下，可以找到一个折中方案。

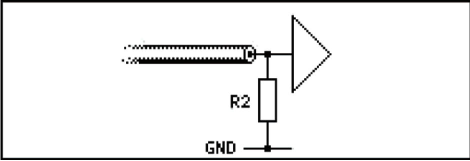


图 7-34　地端并联电阻的终止模式

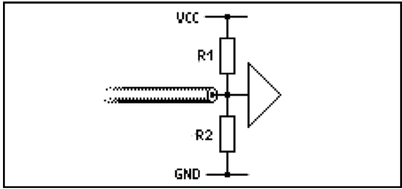


图 7-35　地和电源端并联电阻的终止模式

● Parallel C to GND：地端并联电容，如图 7-36 所示。在接收输入端对地并联电容可以减少信号噪声。这种方式的缺点在于波形的上升和下降沿可能变得太过平坦，增加了上升和下降时间。

● R and C to GND：地端并联电阻和电容，如图 7-37 所示。使用电容和电阻的优点在于在终结网络中没有直流电流流过。当时间常数 RC 为延迟时间的 4 倍左右时，大多数情况下，传输线可以被充分终结。图 7-37 中，R2 的值将等于传输线的典型的阻抗值。

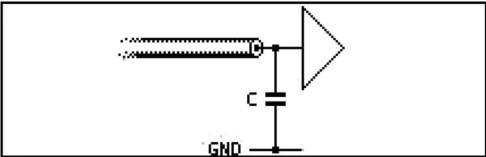


图 7-36　地端并联电容的终止模式

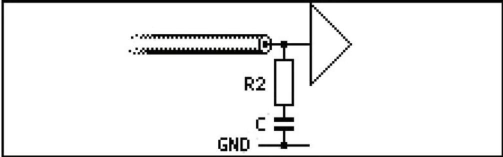


图 7-37　地端并联电容和电阻的终止模式

● Parallel Schottky Diodes：并联肖特基二极管，如图 7-38 所示。在传输线终结的电源和地上并联二极管可以减少接收的过冲和下冲值。大多数标准逻辑集成电路的输入电路都包含有肖特基二极管。

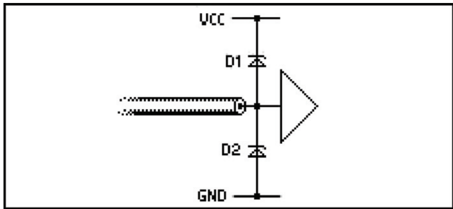


图 7-38　并联肖特基二极管的终止模式

2）“Set Victim Net”选项：用于定义仿真栏内的网络标号。定义该选项便于识别由其他的网络信号造成的串扰。

3）“Set Agressor Net”选项：用于标识所定义的网络标号是唯一有激励的标号。和上述的选项一样，定义该选项便于设计者识别由其他的网络信号造成的串扰。

4）“Screening”选项：该选项允许用户对当前仿真栏内的所有网络标号的信号完整性分析有一个总体的浏览，也可以单击按钮激活该命令。仿真器中的“Screening”窗口如图 7-39 所示。

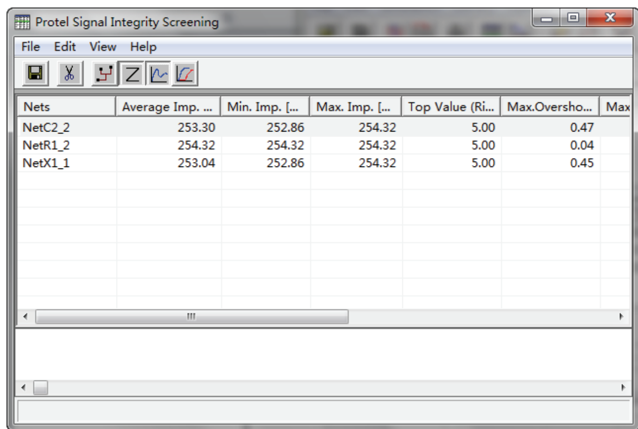


图 7-39 信号完整性分析的 Screening 窗口

通过“View”菜单下的命令选择所要了解网络标号的属性，这些值将在 Screening 的主窗口中显示；也可以选择“File”→“SDF Out”命令将这些值输出到扩展名为“sdf”的文件中。

5）“Reflection”选项：使用缓冲区中所选择的输出执行详细的反射分析。运行该命令即启动波形分析器（将在 7.4 节讲解），也可以单击按钮激活该命令。

6）“Crosstalk”选项：使用缓冲区中所选择的输出对“Aggressor”网络标号进行串扰分析。结果同样将以图形方式显示在波形编辑器中。

7.3.4 Library 菜单

仿真器中的“Library”菜单的子选项功能如下。

1）“Macromodel Editor”选项：该选项将启用宏模式编辑器，允许用户管理自己的缓冲器模式，或者创建新的模式，如图 7-40 所示。

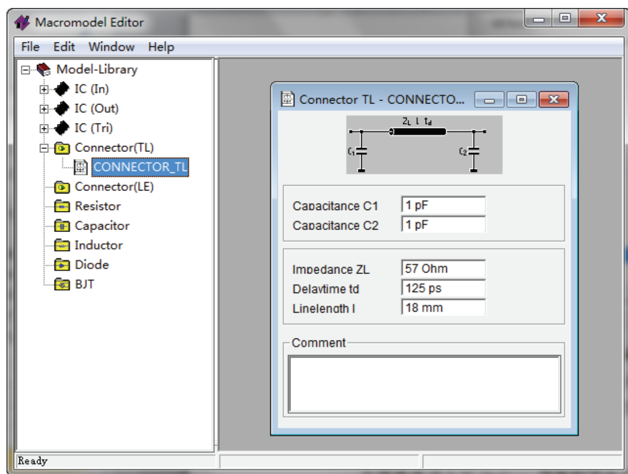


图 7-40 宏模式编辑器主窗口

2）“Import IBIS File”选项：该选项将启用 IBIS 转换器，允许设计者从 IBIS 文件中将

新的缓冲区模式导入到宏模式数据库。

IBIS 代表输入输出缓冲信息定义。IBIS0、IBIS1、IBIS2 是 ANSI/EIA 标准，用于对集成电路的输入输出模拟特征的行为描述。

该定义最初是由 Intel 公司提出的，现在已发展成为一种规范。

一般来说，IBIS 不仅定义了静态的输入/输出的典型值，还定义了高低电平转换的速率值。另外，在 IBIS2.1 的标准中，还定义了输出波形的上升和下降沿。

7.3.5 Options 菜单

主菜单选项中的“Options”菜单的子选项功能如下。

1）“Configure”选项：执行该命令后，系统将弹出如图 7-41 所示的“Options Configure”对话框，可以设置信号分析选项配置。

在“Ignore Stubs to”文本框内定义了传输线的最短长度，小于该长度的，在仿真时将被视为零。默认值为 1mm。在串扰仿真分析中，传输线间的距离大于在“Max. Couple Distance”中所定义的值的将被忽略，同样长度小于在“Min. Couple Length”中的值的也将被忽略。距离的默认值是 100mm，长度的默认值为 0.1mm。通过“Units”选项组可以选择传输线的单位。

2）“Simulator”选项：在仿真器中执行该命令，将弹出如图 7-42 所示的“Options Simulator Options”对话框。

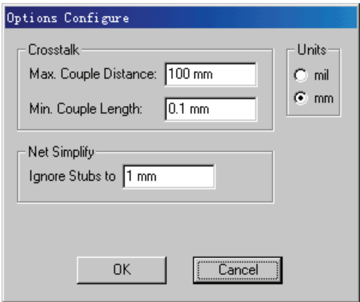


图 7-41 “Options Configure”对话框

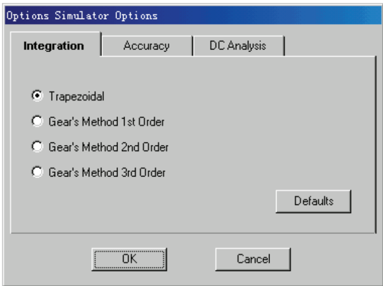


图 7-42 “Options Simulator Options”对话框

在该对话框中，可以选择仿真集成模式。“Defaults”按钮用于设置默认的集成模式。默认的集成模式为“Trapezoidal”。

“Accuracy”选项卡，如图 7-43 所示，该选项卡定义了一些仿真时的精度。

- RELTOL：定义计算电压和电流值的相对误差。
- ABSTOL：定义计算电流值的绝对误差。
- VNTOL：定义计算电压值的绝对误差。
- TRTOL：定义影响集成估算错误的因数。
- NRVABS：运用 Newton-Raphson 算法的顶级错误边界。
- DTMIN：允许的最小步进时间。
- ILT：运用 Newton-Raphson 算法允许的最大的重复数。
- LIMPTS：输出文件中的每个电压曲线允许的电压值的最大数。

“DC Aralysis”选项卡，如图 7-44 所示。

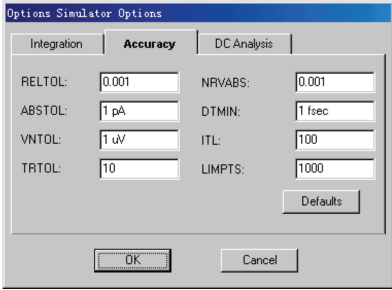


图 7-43 “Accuracy”选项卡

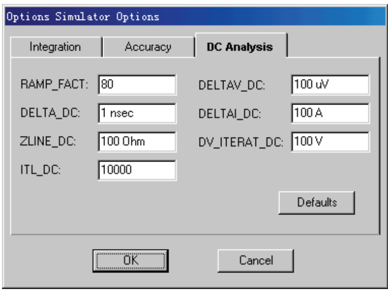


图 7-44 “DC Analysis”选项卡

- RAMP_FACT：斜坡长度控制。
- DELTA_DC：步进时间宽度。
- ZLINE_DC：传输线阻抗值。
- ITL_DC：重复的最大数。
- DELTAV_DC：两次步进时间间隔电压的绝对容差。
- DELTAI_DC：两次步进时间间隔电流的绝对容差。
- DV_ITERAT_DC：每次重复的电压的绝对容差。

7.4 波形分析

Protel 波形分析器能方便地显示出反射和串扰分析的结果，可以直接在波形上执行一系列的测量，供分析比较用。

1）选择“Simulation”→“Reflection”命令后，系统弹出如图 7-45 所示的波形分析器主窗口。

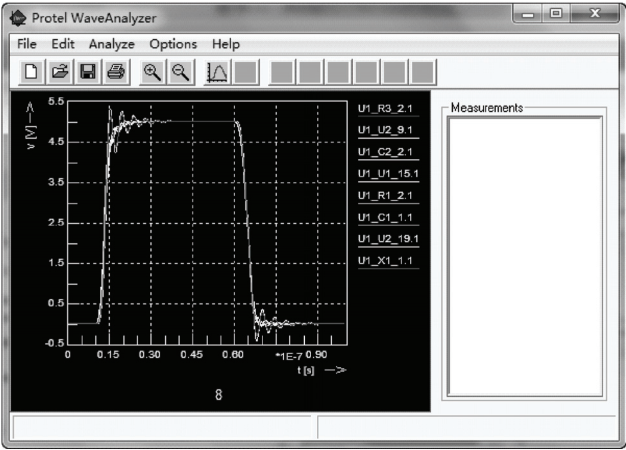


图 7-45 波形分析器主窗口

在波形分析器主窗口中，波形的右边将显示所代表的各自网络标号。

2）波形分析器可以计算如过冲、上升时间等的一系列参数。这可以通过选择“Analyze”菜单下的子菜单来进行，但首先必须选定欲分析的波形。

除此之外，还可以使用波形编辑器提供的快捷按钮，如图 7-46 所示。这些快捷按钮和图 7-45 中的“Analyze”子菜单一一对应。

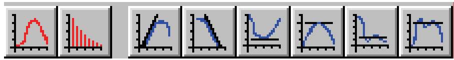


图 7-46　计算参数的快捷按钮

计算所得到的参数值将在右边的空白栏内显示。

3）波形编辑器可以很方便地对波形进行 FFT 变换。如图 7-47 所示，这是对图 7-45 的一个波形进行的 FFT 变换和波形参数值。

4）在波形编辑器的“Options”菜单中，可以对显示的波形坐标、栅格大小等进行设置。

可以根据实际的需要对波形编辑器进行设置，从而便于对仿真器输出的波形进行分析。

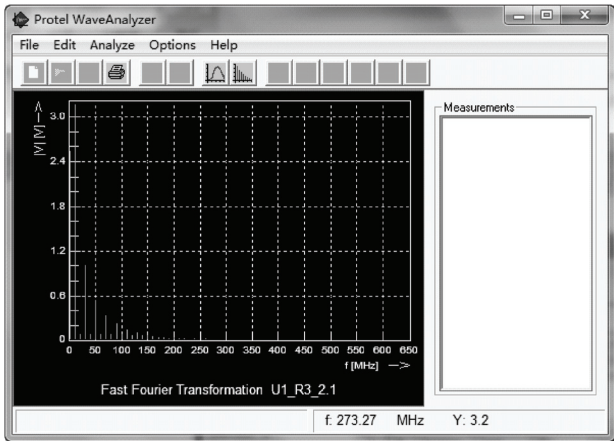


图 7-47　FFT 变换后的波形以及计算的参数值

习题

1．简述 PCB 信号完整性分析的基本过程。
2．对第 6 章设计的 PCB 进行信号完整性分析。

附录　书中非标准符号与国标的对照表

元器件名称	书 中 符 号	国 标 符 号
电解电容	+	+
电解电容	+	+
普通二极管		
稳压二极管		
晶闸管		
线路接地		
与非门		&
非门		1

ISBN 978-7-111-50080-3

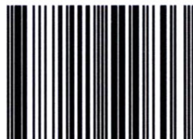
21世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

- ◆ AutoCAD 2008 实用教程（第3版）
- ◆ AutoCAD 机械设计实用教程
- ◆ AutoCAD 2009 中文版机械设计实例精解
- ◆ AutoCAD 2010 中文版范例教程
- ◆ AutoCAD 2010 基础与实例教程
- ◆ AutoCAD 2010 中文版机械制图教程
- ◆ AutoCAD 2010 中文版建筑制图教程
- ◆ AutoCAD 2010 机械绘图实例教程
- ◆ AutoCAD 2011 中文版建筑制图教程
- ◆ AutoCAD 2011 中文版机械制图教程
- ◆ AutoCAD 2011 中文版机械设计实例教程（第2版）
- ◆ AutoCAD 2012 中文版机械制图教程
- ◆ AutoCAD 2012 室内装潢设计
- ◆ AutoCAD 2012 建筑制图
- ◆ AutoCAD 2013 工程制图（第4版）
- ◆ AutoCAD 2014 实用教程（第4版）
- ◆ AutoCAD 2014 中文版工程制图实用教程（第2版）
- ◆ AutoCAD 2014 中文版机械绘图实例教程
- ◆ AutoCAD 2014 中文版电气设计基础与实例教程
- ◆ AutoCAD 2015 中文版机械设计实例教程
- ◆ 3ds Max 室内设计基础与实例教程
- ◆ Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 实用教程（第2版）
- ◆ Pro/ENGINEER 5.0 基础教程
- ◆ Pro/Engineer 实用教程
- ◆ Creo 2.0 基础教程
- ◆ Protel 99 SE 原理图与PCB设计教程（第2版）
- ◆ Protel 99 SE 电路设计与仿真教程（第2版）
- ◆ Protel 99 SE 应用教程
- ◆ Protel DXP 原理图与PCB设计教程
- ◆ Protel DXP 实用教程（第2版）
- ◆ Protel DXP 基础教程
- ◆ Altium Designer 原理图与PCB设计教程
- ◆ Altium Designer 14 电路设计基础与实例教程
- ◆ VHDL 电路设计实用教程
- ◆ CATIA 基础教程
- ◆ UG NX 7.0 基础教程（第4版）
- ◆ UG NX 8.0 模具设计教程
- ◆ UG NX 8.0 数控加工基础教程
- ◆ UG NX 9.0 中文版基础与实例教程
- ◆ SolidWorks 2009 基础教程（第3版）
- ◆ SolidWorks 2011 基础教程（第4版）
- ◆ SolidWorks 2012 基础与实例教程
- ◆ SolidWorks 2014 三维设计及应用教程
- ◆ SolidWorks 设计与分析范例教程
- ◆ Mastercam X 设计和制造应用教程
- ◆ Mastercam 基础教程
- ◆ MATLAB 基础与实践教程
- ◆ MATLAB 基础教程
- ◆ MATLAB 建模与仿真应用教程（第2版）
- ◆ 压铸模 CAD/CAE/CAM
- ◆ 基于三维设计的工程制图
- ◆ 基于三维设计的工程制图习题集
- ◆ ANSYS 基础与实例教程

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88379833
读者购书热线：010-88379649
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金书网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版


机工教育微信服务号

上架指导 电子设计/Protel
ISBN 978-7-111-50080-3
策划编辑◎和庆娣 / 封面设计◎刘吉维

ISBN 978-7-111-50080-3

9 787111 500803 >
定价：43.00元